

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Branimir Miketić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Doc. dr. sc. Ivan Stojanović, dipl. ing.

Student:

Branimir Miketić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojem mentoru doc. dr. sc. Ivanu Stojanoviću na pomoći i stručnim savjetima, te podršci pri pisanju ovog rada.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Vesni Alar, kao i svim djelatnicima Laboratorija za zaštitu materijala, na bezbrojnim savjetima te pomoći pri izradi ovog rada.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Branku Baueru, kao i svim djelatnicima Laboratorija za ljevarstvo, na savjetima i pomoći prilikom površinske pripreme uzoraka.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Biserki Runje, te asistentici Amaliji Horvatić Novak, mag.ing., na pomoći prilikom mjerenja hrapavosti površine.

Zahvaljujem se Ivanu Vovku na pomoći pri pripremanju uzoraka za analizu na mikroskopu.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na strpljenju te iznimnoj podršci tijekom studiranja.

Branimir Miketić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Branimir Miketić**

Mat. br.: 0035189257

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**Utjecaj pripreme površine na prionjivost i potrošnju premaza**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**Effect of Surface Preparation on Adhesion and Consumption of  
Organic Coatings**

Opis zadatka:

Zaštita od korozije premazima je osnovna metoda zaštite čeličnih konstrukcija, pri čemu se velika pažnja pridaje pripremi površine za nanošenje premaza. Priprema površine uglavnom je specificirana u stupnju čistoće Sa 2 1/2 (ISO 8501-1) i parametru hrapavosti  $R_z = 40 \mu\text{m}$  do  $70 \mu\text{m}$ , dok profil površine ne smije imati oštre bridove koji bi mogli probiti mokri premaz. Profil hrapavosti može biti zaobljen ili uglat, što ovisi o tipu i veličini korištenog abraziva.

U radu je potrebno obraditi pripremu površine mlazom abraziva. Opisati različite abrazive koji se koriste za pripremu površine čeličnih konstrukcija. Osvrnuti se na utjecaj veličine i vrste abraziva na produktivnost, potrošnju, stvaranje otpada i utjecaj na okoliš. Na čeličnim uzorcima pripremljenim različitim abrazivima izmjeriti parametre hrapavosti površine, nanijeti premaz i odrediti utjecaj hrapavosti podloge na prionjivost i potrošnju premaza. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. rujna 2017.

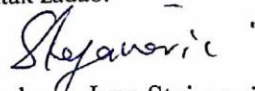
Datum predaje rada:

30. studenog 2017.

Predviđeni datum obrane:

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:

  
Doc. dr. sc. Ivan Stojanović

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	IV
POPIS TABLICA .....	VI
POPIS OZNAKA I KRATICA.....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY.....	IX
1. Uvod .....	1
1.1. Ekonomski značaj korozije .....	2
2. Vrste korozijskih procesa .....	3
3. Metode zaštite od korozije .....	4
3.1. Zaštita metala od korozije u praksi .....	4
4. Zaštita organskim premazima .....	5
4.1. Nanošenje premaza .....	6
5. Priprema površine.....	7
5.1. Odmašćivanje.....	7
5.2. Mehaničko čišćenje .....	8
5.2.1. Ručno mehaničko čišćenje.....	8
5.2.2. Strojno mehaničko čišćenje.....	9
5.3. Kemijsko čišćenje .....	9
5.4. Čišćenje vodenim mlazom.....	10
5.5. Čišćenje mlazom abraziva.....	10
6. Čišćenje mlazom abraziva .....	12
6.1. Opis procesa .....	13
7. Metode izbacivanja abraziva.....	14
7.1. Metoda suhog čišćenja mlazom abraziva .....	14
7.1.1. Centrifugalni suhi postupak .....	14
7.1.2. Pjeskarenje pomoću komprimiranog zraka .....	15
7.1.2.1. Direktno izbacivanje abraziva iz spremnika pod tlakom .....	15

7.1.2.2.	Metoda usisnog sifona .....	16
7.1.2.3.	Metoda sa gravitacijskim dovodom abraziva na pištolj .....	17
7.2.	Mokro čišćenje mlazom abraziva .....	18
8.	Oprema za čišćenje mlazom abraziva .....	20
8.1.	Prijenosna oprema za pjeskarenje .....	20
8.2.	Ručna oprema koja se nalazi u komorama za pjeskarenje .....	21
8.3.	Ručne komore za pjeskarenje .....	21
8.4.	Automatski uređaji za pjeskarenje .....	22
8.5.	Uređaji za mokro čišćenje .....	23
9.	Sredstva za pripremu površine mlazom abraziva .....	24
9.1.	Kvarcni pijesak .....	24
9.2.	Bakrena troska .....	24
9.3.	Korund .....	25
9.3.1.	Smeđi korund .....	26
9.3.2.	Bijeli korund .....	26
9.3.3.	Miješani korund .....	27
9.4.	Garnet .....	27
9.5.	Čelična sačma .....	28
9.6.	Staklene kuglice – perle .....	29
9.7.	Stakleni granulati .....	30
9.8.	Keramičke kuglice – perle .....	30
9.9.	Plastični granulati .....	31
9.10.	Soda bikarbona .....	32
10.	Stupnjevi pripreme površine mlazom abraziva .....	33
10.1.	Izgled površine prije i nakon čišćenja mlazom abraziva .....	33
10.2.	Odabir abraziva prema vrsti premaza koji se nanosi .....	35
11.	Utjecaj čišćenja abrazivom na okoliš .....	36
12.	Utjecaj oblika čestica i parametara obrade na profil hrapavosti površine .....	38

12.1.	Granulacija abraziva.....	38
12.2.	Tvrdoća abraziva .....	38
12.3.	Oblik čestica abraziva .....	39
12.4.	Masa (gustoća) čestica abraziva .....	39
12.5.	Brzina čestice abraziva .....	39
12.6.	Produktivnost i potrošnja abraziva.....	41
13.	Utjecaj pripreme površine na prionjivost organskih premaza .....	42
14.	Eksperimentalni dio.....	43
14.1.	Priprema uzoraka za ispitivanje.....	43
14.2.	Mjerenje hrapavosti površine uzoraka uređajem „Elcometer 224“ .....	51
14.3.	Mjerenje hrapavosti površine uređajem s ticalom „Taylor Hobson Surtronic 25“ .....	53
14.4.	Nanošenje premaza .....	56
14.5.	Mjerenje debljine suhog filma premaza .....	58
14.6.	Analiza uzoraka na svjetlosnom mikroskopu Olympus GX51.....	60
14.7.	Ispitivanje u vlažnoj komori.....	63
14.8.	Ispitivanje u slanoj komori .....	66
14.9.	Ispitivanje prionjivosti premaza metodom mrežice .....	69
14.10.	Ispitivanje prionjivosti premaza vlačnom metodom.....	74
14.11.	Izračun potrošnje premaznog sredstva.....	80
15.	Zaključak.....	84
16.	LITERATURA.....	86
17.	Prilozi .....	88

## POPIS SLIKA

Slika 1. Ispiranje površine broda [9].....	8
Slika 2. Ručno mehaničko čišćenje metalnog sandučića [10] .....	8
Slika 3. Brušenje zavarenog spoja [11] .....	9
Slika 4. Čišćenje vodenim mlazom [12] .....	10
Slika 5. Čišćenje oplata broda mlazom abraziva [13] .....	11
Slika 6. Prikaz opreme centrifugalnog postupka abrazivnog čišćenja [15] .....	14
Slika 7. Prikaz tlačnog izbacivanja abraziva kod prenosivog spremnika [15] .....	16
Slika 8. Priključak cijevi za dovod abraziva na lijevak s abrazivom [15] .....	16
Slika 9. Pištolj sa gravitacijskim dovodom abraziva [15].....	17
Slika 10. Opis opreme za mokro čišćenje mlazom abraziva [16].....	18
Slika 11. Operater i glavne komponente prijenosne opreme za pjeskarenje [16] .....	20
Slika 12. Pjeskarenje ručnom opremom u komori [17] .....	21
Slika 13. Prikaz pjeskarenja u ručnoj komori [16] .....	22
Slika 14. Oprema za automatsko pjeskarenje s konvejerom [17] .....	22
Slika 15. Oprema za mokro pjeskarenje [16].....	23
Slika 16. Suhi kvarcni pijesak [19] .....	24
Slika 17. Bakrena troska [21].....	25
Slika 18. Vrste korunda [22].....	25
Slika 19. Garnet [22].....	27
Slika 20. Čelična sačma [21] .....	29
Slika 21. Staklene kuglice [21].....	29
Slika 22. Stakleni granulat [21] .....	30
Slika 23. Keramičke kuglice [21].....	30
Slika 24. Plastični granulat [21].....	31
Slika 25. Soda bikarbona [21].....	32
Slika 26. Stanje površine prije i nakon pripreme [24].....	34
Slika 27. Profil površine prije i nakon pjeskarenja [26].....	35
Slika 28. Utjecaj parametara obrade na profil hrapavosti [28] .....	40
Slika 29. Komora za pjeskarenje „Contracor CAB 110P“, Laboratorij za ljevarstvo, FSB, Zagreb .....	44
Slika 30. Prikaz korištenih abraziva, Laboratorij za ljevarstvo, FSB, Zagreb .....	44
Slika 31. Ispitivanje mikroskopom „Leica MZ6“, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb .....	45
Slika 32. Obrada uzoraka u komori za pjeskarenje .....	46



Slika 33. Uzorci obrađeni korundom .....	47
Slika 34. Uzorci obrađeni lomljenom čeličnom sačmom .....	47
Slika 35. Uzorci obrađeni kvarcnim pijeskom .....	48
Slika 36. Uređaj „Elcometer 224“, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb .....	51
Slika 37. Grafikon usporedbe hrapavosti površine .....	53
Slika 38. Parametri hrapavosti površine .....	54
Slika 39. Uređaj „Taylor Hobson Surtronic 25“, Laboratorij za precizna mjerenja dužina, FSB, Zagreb .....	54
Slika 40. Odmašćivanje uzoraka .....	56
Slika 41. Postupak nanošenja premaza .....	57
Slika 42. Uređaj „Elcometer 456“ i postupak mjerenja, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb .....	58
Slika 43. Grafički prikaz debljine suhog filma premaza.....	59
Slika 44. Postupak analize uzoraka na mikroskopu „Olympus GX51“, Laboratorij za materijalografiju, FSB, Zagreb .....	60
Slika 45. Vlažna komora „CW AB6“, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb ....	63
Slika 46. Slana komora „Ascott S450“, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb .	66
Slika 47. Oprema i postupak ispitivanja prionjivosti metodom mrežice, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb .....	69
Slika 48. Oprema i postupak ispitivanja vlačnom metodom, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb.....	74
Slika 49. Grafikon srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti prije ispitivanja u komorama.....	76
Slika 50. Grafikon srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti nakon ispitivanja u vlažnoj komori.....	78
Slika 51. Grafikon srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti nakon ispitivanja u slanoj komori .....	80
Slika 52. Dijagram rezultata proračuna potrošnje boje .....	83

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Najveći svjetski proizvođači boja i lakova [6].....	5
Tablica 2. Tehničke karakteristike bakrene troske [20] .....	25
Tablica 3. Tehničke karakteristike korunda [20].....	26
Tablica 4. Tehničke karakteristike garneta [20] .....	27
Tablica 5. Tehničke karakteristike čelične sačme [20] .....	28
Tablica 6. Prosječni kemijski sastav staklenih kuglica [22] .....	29
Tablica 7. Stupnjevi pripreme površine metodom abrazivnog čišćenja [25] .....	34
Tablica 8. Usporedba glavnih parametara abraziva [29] .....	41
Tablica 9. Rezultati ispitivanja granulacije abraziva.....	45
Tablica 10. Prikaz parametara obrade uzoraka .....	49
Tablica 11. Usporedba uzoraka pod mikroskopom „Leica MZ6“ .....	50
Tablica 12. Rezultati mjerenja hrapavosti uređajem „Elcometer 224“ .....	52
Tablica 13. Grafički prikaz rezultata mjerenja hrapavosti površine uzoraka .....	55
Tablica 14. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza .....	59
Tablica 15. Uzorci uvećani 200 puta.....	61
Tablica 16. Uzorci uvećani 500 puta.....	62
Tablica 17. Uzorci 2, 8 i 11 prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori .....	64
Tablica 18. Uzorci 15, 19 i 23 prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori .....	65
Tablica 19. Uzorci 3, 9 i 12 prije i nakon ispitivanja u slanoj komori .....	67
Tablica 20. Uzorci 16, 20 i 24 prije i nakon ispitivanja u slanoj komori .....	68
Tablica 21. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza .....	69
Tablica 22. Ocjena prionjivosti metodom mrežice .....	70
Tablica 23. Ocjena prionjivosti premaza nakon sušenja .....	71
Tablica 24. Ocjena prionjivosti premaza nakon ispitivanja u vlažnoj komori.....	72
Tablica 25. Ocjena prionjivosti premaza nakon ispitivanja u slanoj komori .....	73
Tablica 26. Ispitivanje uzoraka vlačnom metodom prije ispitivanja u komorama .....	75
Tablica 27. Ispitivanje uzoraka vlačnom metodom nakon vlažne komore .....	77
Tablica 28. Ispitivanje uzoraka vlačnom metodom nakon slane komore .....	79
Tablica 29. Prosječna hrapavost površine $R_z$ pripremljene različitim abrazivima .....	81
Tablica 30. Količina boje potrebne za ispuniti hrapavost površine od 1 m <sup>2</sup> [31] .....	81
Tablica 31. Rezultati proračuna potrošnje boje za 10 m <sup>2</sup> površine .....	82

**POPIS OZNAKA I KRATICA**

USD – Američki dolar

°C – Stupanj Celzijus

bar – Mjerna jedinica za tlak

m<sup>3</sup>/h – Metar kubni na sat

m/s – Metara po sekundi

mm – Milimetar

Mohs – Tvrdća po Mohs- ovoj ljestvici

g/cm<sup>3</sup> – Gram po centimetru kubnom

kg/dm<sup>3</sup> – Kilogram po decimetru kubnom

HRC – Tvrdća po Rockwellu

HV – Tvrdća po Vickersu

dm<sup>3</sup> – Decimetar kubni

µm – Mikrometar

## SAŽETAK

Diplomski rad se sastoji od dva dijela. Prvi dio je teorijski, a drugi eksperimentalni.

U teorijskom dijelu rada dat je prikaz pripreme površine metala za zaštitu od korozije premazima. Opširnije je prikazana metoda pripreme površine mlazom abraziva.

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su ispitivanja pripreme površine mlazom abraziva. Ispitana je hrapavost površine nakon pripreme, uzorci su analizirani stereo mikroskopom, te uređajima za mjerenje hrapavosti. Na pripremljenu površinu nanesen je premaz te su ispitana svojstva prionjivosti nakon izlaganja uzoraka u vlažnoj i slanoj komori.

Ključne riječi: Korozija, pjeskarenje, abrazivi, hrapavost, vlažna komora, slana komora, prionjivost.

## SUMMARY

Graduate thesis consists of two parts. The first part is theoretical, and the second is experimental.

The theoretical part of the paper gives an overview of the metal surface preparation for coating application. The abrasive blast surface preparation method is described in more detail.

In the experimental part of the task, tests were carried out on the abrasive blasting surface preparation. Surface roughness was tested after preparation. The samples were analyzed by a stereo microscope, and the digital surface profile gauges for measuring the roughness parameteres. The coating was applied to the prepared surface and the properties of adhesion were investigated after exposure of the samples in the humidity and salt spray chamber.

Keywords: Corrosion, sandblasting, abrasives, roughness, humidity chamber, salt spray chamber, adhesion.

## 1. Uvod

Čovjek se od davnih vremena koristi predmetima i materijalima za različitu namjenu koje je pronalazio i uzimao iz prirode. Danas su svuda oko nas sveprisutni konstrukcijski materijali. Svi konstrukcijski materijali podložni su nenamjernim oštećivanjima i štetnim promjenama koji u konačnici smanjuju vijek upotrebe same tvorevine. Takve promjene dešavaju se od trenutka samog dobivanja materijala, pa sve do njegove otpreme na otpad ili recikliranje [1].

Iz prirode čovjek uzima sirovine koje se nalaze u termodinamičkom stabilnom stanju. Unosom energije, preradom i oblikovanjem mijenja se njihov sastav pri čemu se dobiva konstrukcijski materijal sa željenim svojstvima. Dobiveni materijal nalazi se u termodinamičkom nestabilnom stanju te prirodno teži vraćanju u prvobitno termodinamičko stabilno stanje. To je neželjena, nenamjerna i štetna pojava koja se događa iz razloga što su prirodni materijali u ravnoteži s kemijskim reakcijama koje se dešavaju pod utjecajem kisika, vode i ostalih atmosferskih čimbenika. Unosom energije i preradom prirodnih materijala promjene ostaju prekrivene u strukturi materijala te se mijenja njihov sastav da bi se ostvarila željena svojstva za ciljanu namjenu. Zbog velikog unosa energije kod proizvodnje metalno stanje sadržava visoku energiju. Metal ima prirodnu težnju da reagira s drugim tvarima i oslobađanjem energije prelazi u stanje niže energije. Taj prelazak nazivamo pokretačka sila procesa korozije [1,2].

Ljudi su se još prije 3500 godina bavili zaštitom svog alata, oružja, posuda, brodova i sličnih tvorevina da bi produžili njihov vijek trajanja. U Egiptu su se koristili zaštitnim premazima kako bi zaštitili podvodne dijelove broda, a u srednjem vijeku su zaštitnim premazima štitili oružje i oklope od korozije. U današnje vrijeme površinska zaštita od korozije ima sve veću tehničku i gospodarsku važnost. Površinskom zaštitom teži se kočiti i spriječiti proces nastanka korozije jer štetne pojave i procesi većinom počinju na samoj površini materijala. Osim toga ona je i srodna finalizaciji proizvoda, tj. završnoj obradi kojom se mijenjaju svojstva površine s ciljem da se zaštiti površina i dobije završni estetski izgled ili neki učinak koji je bitan za funkcionalnost proizvoda. Postupci zaštite materijala od djelovanja korozije obuhvaćaju primjenu korozijski postojećih materijala, konstrukcijsko - tehnološke mjere zaštite, elektrokemijske metode zaštite (anodna i katodna zaštita), zaštitu inhibitorima korozije te zaštitu prevlačenjem [1,2,3].

Svojstva površinskih slojeva konstrukcijskih metala često određuju njihovu vrijednost jer ona presudno utječu na trajnost u eksploataciji, a time i na ekonomičnost primjene. Zato se sve veća pažnja posvećuje inženjerstvu površina i tehnologijama površina. Sve više se tehnologije površina označavaju kao ključne jer o njima uvelike ovisi kvaliteta proizvoda. Na temeljnim fizikalnim i kemijskim zakonitostima procesa izvršena je klasifikacija postupaka obrade površina. Temeljna je podjela na postupke prevlačenja i na postupke modificiranja. Kod postupaka prevlačenja površinski sloj se stvara na polaznoj površini dok kod postupaka modificiranja površinski sloj nastaje od polazne površine prema unutrašnjosti metala [4].

### 1.1. Ekonomski značaj korozije

Korozija smanjuje masu metala i njegovu uporabnu vrijednost u obliku sirovine, poluproizvoda i proizvoda. Skraćuje vijek trajanja proizvoda, poskupljuje održavanje, uzrokuje zastoje u radu, pogoršava kvalitetu proizvoda itd. Zbog korozije postaju neupotrebljive i mnogo veće količine materijala od korodiranih, jer element koji je korodirao može biti vitalni dio nekog sklopa ili konstrukcije, koji više nije upotrebljiv za rad. Također, za izradu konstrukcija je potrošeno mnogo energije i radnog vremena što znači da su gubici zbog korozije konstrukcije puno veći od korodirana sirovog materijala. Budući da su svi metali u određenim okolnostima podložni koroziji, u privredi nastaju znatni gubici koje je teško realno odrediti. Najčešći su načini procjene koji uglavnom uzimaju u obzir izravne gubitke, tj. troškove popravaka i zamjene korodirane opreme, nanošenja prevlaka i provođenja drugih zaštitnih mjera te troškove primjene skupljih i postojanijih legura umjesto ugljičnog čelika. Osim toga, neizravni gubici mogu biti i znatno veći jer korozija može biti uzrokom nesreća, zastoja u proizvodnji, gubitka proizvoda, smanjenja efikasnosti, onečišćenja okoliša itd [1].

U Republici Hrvatskoj prva procjena šteta od korozije provedena je 1954. godine od strane Saveza inženjera i tehničara za zaštitu materijala. Šteta je tada procijenjena na temelju razlike stvarne amortizacijske stope od 3 % i amortizacijske stope koja bi se mogla postići racionalnom zaštitom konstrukcija, od 1,1 %. Dobivena razlika od 1,9 % uzeta je kao koeficijent štete od korozije. Takvim izračunom, prema stanju privrede iz 1990. godine, šteta od korozije iznosila bi i do 2 milijarde dolara godišnje [1].

## 2. Vrste korozijskih procesa

Koroziju definiramo kao proces u kome metali reagiraju sa okolinom i pri tome gube metalne osobine. Kako bi se olakšalo proučavanje korozijskih procesa, uobičajeno je da se vrše podjele prema nekim zajedničkim parametrima, kao na primjer [5]:

- Prema djelovanju okoline korozija može biti elektrokemijska ili kemijska, te uz djelovanje mehaničkih naprezanja.
- Prema oštećenju materijala korozija može biti opća ili lokalna.
- Prema tipu katodne reakcije, odnosno prema prirodi uzročnika korozije.
- Prema prirodi sredine korozijske reakcije najčešće se odvijaju u vodenim otopinama, atmosferi i u tlu.

Unutarnji i vanjski činitelji korozije variraju lokalno i vremenski, što uzrokuje različite brzine korozije na pojedinim mjestima površine materijala, kao i promjene te brzine s vremenom. Na tim se pojavama osniva geometrijska klasifikacija prema obliku korozije te klasifikacija po tijeku procesa. Oblici korozije jesu [2]:

- Opća, ravnomjerna ili neravnomjerna korozija koja zahvaća čitavu izloženu površinu materijala, pri čemu je intenzivnost oštećenja svuda podjednaka ili, pak, lokalno različita.
- Lokalna (mjestimična) korozija koja zahvaća dio izložene površine materijala, a može biti pjegasta, tj. ograničena na pojedina žarišta kojima je površina relativno velika u odnosu na dubinu, ili jamičasta, tj. usko lokalizirana sa žarištima približno kružnog presjeka na površini, pri čemu je dubina oštećenja relativno velika.
- Interkristalna korozija koja napreduje uzduž granica zrna u unutrašnjost materijala, a na površini je rijetko vidljiva.
- Selektivna korozija koja različitom brzinom napada pojedine komponente, odnosno faze, višekomponentnih ili višefaznih materijala, a može biti opća i lokalna.



### 3. Metode zaštite od korozije

Da bi se odvio proces korozije po elektrokemijskom mehanizmu moraju biti ispunjene sve komponente korozijske ćelije: anoda i katoda, kratka veza i elektrolit. Odsutnost bilo koje od ove četiri komponente je dovoljno da se korozijski proces ne pokrene. Jednostavan način za sprečavanje korozije je izostanak barem jedne od komponenti korozijske ćelije [5].

#### 3.1. Zaštita metala od korozije u praksi

Zaštita metala u praksi je odgovorna aktivnost kojom se bave stručnjaci iz većeg broja područja, koji primjenjuju različite metode zaštite. Ove metode svrstavamo u pet kategorija [5]:

- Zaštita promjenom korozijske sredine
  - Obradom korozijske sredine uklanja se korozijski agens. Na primjer smanjenjem vlažnosti zraka, dodavanjem inhibitora, deareacijom itd.
- Zaštita legiranjem materijala
  - Korozijska otpornost metala se u velikom broju slučajeva može poboljšati njihovim oplemenjivanjem.
- Zaštita promjenom elektrodnog potencijala
  - Promjenom elektrodnog potencijala metal se može prevesti iz stanja korodiranja u stanje imunosti ili u stanje pasivnosti.
- Zaštita prevlakama
  - Nanošenjem odgovarajućih prevlaka sprečava se kontakt metala sa agresivnim tvarima iz sredine u kojoj se oni koriste.
- Zaštita dizajnom
  - Racionalnim konstruiranjem metalnih materijala moguće je postići bolju zaštitu konstrukcija od korozije. Treba voditi računa o jednostavnosti konstrukcije, nezadržavanju vlage, sprečavanju galvanske korozije.

#### 4. Zaštita organskim premazima

Organskim se prevlakama smatraju sve one koje čini kompaktnima organska tvar tvorbom opne. Takvi se slojevi dobiju nanošenjem organskih premaznih sredstava (bojenjem i lakiranjem), uobičajenim podmazivanjem, plastifikacijom, gumiranjem i bitumenizacijom [2].

Zaštita metalnih površina organskim prevlakama jedan je od najrasprostranjenijih postupaka u tehnici. Čak  $\frac{3}{4}$  ukupnih metalnih površina zaštićeno je organskim prevlakama. Za neke je površine to nezamjenjiv način zaštite [4]. Za jasniju sliku današnje svjetske situacije možemo navesti podatak da je ukupna svjetska proizvodnja boja i lakova godine 1996. iznosila vrijednost od 54 milijarde US dolara u koju je bilo uključeno 12 250 aktivnih kompanija. Ta je industrija porastom od 3,5 % godišnje 2001. dostigla proizvodnju 26 milijuna tona što iznosi 72 milijarde US dolara. U tablici 1 prikazani su najveći svjetski proizvođači boja i lakova [6].

Tablica 1. Najveći svjetski proizvođači boja i lakova [6]

10 Najvećih svjetskih proizvođača boja i lakova	
1. Akzo Nobel	Nizozemska
2. ICI	Velika Britanija
3. Shervin	Williams SAD
4. Du Pont	SAD
5. PPG	SAD
6. BASF	Njemačka
7. Nippon	Japan
8. Total Sigma Kalon	Francuska
9. Kansai	Japan
10. Tikkurila	Finska

#### 4.1. Nanošenje premaza

Nanošenje premaza je opisano u uputama proizvođača i o tome će ovisiti debljina i izgled premaza. Prije nanošenja premaza potrebno je proučiti sve upute i upozorenja koja se nalaze na poleđini ambalaže. Premazna sredstva treba ispravno skladištiti na temperaturi od 0 do 30 °C. Nanošenje premaza je važan proces te ima ključne čimbenike [7]:

- mikroklima tokom nanošenja
- aplikacijska oprema (vrsta i stanje)
- otvrdnjavanje premaza
- stručnost osoba koje izvode proces
- kontrola kvalitete premaza.

Načini nanošenja premaznog sredstva su:

- kistom i četkom
- valjcima
- prskanjem pištoljima na zrak
- bezračnim prskanjem
- vruće prskanje
- elektrostatsko štrcanje
- uranjanje
- prelijevanje.

## 5. Priprema površine

Od svih aspekata projektiranja zaštitnog premaza nijedan nije toliko značajan kao što je priprema površine prije nanošenja premaza. Čak i premazi s najboljim svojstvima mogu zakazati ukoliko površina nije dobro očišćena i pripremljena. To znači da će neki jeftiniji i premazi sa lošijim svojstvima pružati bolju zaštitu od onih skupljih i boljih ukoliko je površina dobro pripremljena. Pod pripremom površine podrazumijeva se skidanje hrđe, srhova od prijašnjih postupaka obrade, starih premaza itd. nekim od postupaka abrazivnog djelovanja (pjeskarenje, sačmarenje) ili pomoću raznih alata (npr. brusilice). U pripremu površine spadaju svi postupci kojima se uklanjaju masne tvari, korozijski produkti i druga onečišćenja čime se postiže jednolična umjerena hrapavost [2, 8].

### 5.1. Odmašćivanje

Odmašćivanje služi za odstranjivanje bioloških i mineralnih masnih tvari s površine metala i neophodno je u pripremi površine za nanošenje prevlaka kako bi prevlaka dobro prijanjala na metalnu površinu. Odmašćivanje mora osigurati da su sva ulja i masne tvari maknute s površine. Ako ovaj dio pripreme nije dobro napravljen lako je moguće da se zaostala onečišćenja samo prošire na veću površinu što će smanjiti prionjivost premaza. Čišćenje se vrši na sljedeći način [9]:

- površina mora biti čista i suha prije nanošenja sredstva za čišćenje
- sredstvo za čišćenje se nanosi odozdo prema gore
- nanosi se na sve površine
- sredstvo za čišćenje se ostavi da djeluje propisano vrijeme (najčešće 1-5 minuta)
- ispiranje sredstva čistom vodom odozdo prema gore; najbolji rezultati se dobivaju ako se upotrebljava vruća voda
- završno ispiranje odozgo prema dolje (slika 1).

Odmašćivanje se može provesti fizikalnim otapanjem u hlapivim organskim otapalima, razrjeđivačima organskih premaza, tretiranjem lužnatim otopinama, parnim i ultrazvučnim odmašćivanjem, odmašćivanjem mlazom vodene pare te čišćenje masnih tvari spaljivanjem pri temperaturama višim od 180 °C [1].



Slika 1. Ispiranje površine broda [9]

## 5.2. Mehaničko čišćenje

Za velike površine, mehaničko čišćenje je puno skuplje od čišćenja mlazom abraziva. Mehaničko čišćenje se najviše koristi kod lokalnih oštećenja površine, za čišćenje manjih površina zahvaćenih korozijom, čišćenje izgorjenih dijelova površine i čišćenje zavara. Rezultati mogu varirati i proces je relativno spor. Nakon mehaničkog čišćenja potrebno je površinu očistiti od čestica prašine bilo suhim zrakom ili vakuumom [9].

### 5.2.1. Ručno mehaničko čišćenje

Ručno mehaničko čišćenje je jedna od najstarijih metoda čišćenja metalnih površina. Primjenjuje se za uklanjanje hrđe, boje ili kamenca koji labavo prijanjaju na podlogu. Provodi se ručnim alatom što podrazumijeva strugala, žičane četke, dljetja, abrazive na raznim podlogama, zavarivačke čekice i sl. (slika 2). Prije čišćenja treba osigurati da su prašina, ulje i masnoća odstranjeni s površine. Ručno mehaničko čišćenje je pogodno za primjenu gdje je potrebno jeftino pripremiti površinu i nanijeti boje sa manjim rokom trajanja [1,9].



Slika 2. Ručno mehaničko čišćenje metalnog sandučića [10]

### 5.2.2. Strojno mehaničko čišćenje

Strojno mehaničko čišćenje provodi se korištenjem električnih ili pneumatskih uređaja na koje se montiraju mehanički alati. U usporedbi s ručnim postupcima postiže se veća produktivnost. Čišćenje rotacijskim četkama primjenjuje se za manja oštećenja površine, kad je s površine potrebno ukloniti rahlu koroziju, strugotine, trosku i slična onečišćenja te aktivirati zaštitni premaz za nanošenje pokrivnog. Brušenjem se poboljšava kvaliteta površine materijala, uklanjaju se produkti korozije, metalne kapi od zavarivanja, nadvišenja zavora, zaobljuju rubovi te čiste ulegnuća i druge nepravilnosti. Provodi se abrazivnim zrcima ugrađenim u rotacijske diskove koji se montiraju na pneumatske ili električne uređaje (slika 3). Za teško dostupna mjesta mogu se koristiti igličari. Igličari imaju malu iskoristivost pa se zbog toga ne koriste za veće površine, a uz to su dosta bučni i skloni oštećivanju površine koju obrađuju [2,9].



Slika 3. Brušenje zavarenog spoja [11]

### 5.3. Kemijsko čišćenje

Kiselinsko i lužnato dekapiranje najvažniji su postupci pripreme površine. Pomoću kiselinskog dekapiranja odstranjuje se hrđa i okujina ugljičnog i niskolegiranog čelika, dok se pomoću lužnatog dekapiranja skidaju korozijski produkti, ali je moguće oštećivanje metala, pa se proces mora pravovremeno prekinuti [2].

#### 5.4. Čišćenje vodenim mlazom

Čišćenje vodenim mlazom (slika 4) temelji se na energiji udara vode o površinu obradka bez primjene abraziva, što čini tu tehniku pripreme površine jednom od ekološki prihvatljivih rješenja s obzirom na pripremu površine sačmarenjem. S površine se uklanjaju rahli korozijski produkti, soli, masnoće, stare boje, okujina i druge nečistoće.

Pritisak vode je vrlo visok, od 300 do 3000 bara, te protoka od 20 pa sve do nekoliko stotina litara u minuti. Nedostatak je što se ne stvara novi profil hrapavosti već ostaje ona hrapavost podloge koja je bila prisutna prije čišćenja. Drugi nedostatak je što površina nakon čišćenja ima brzu pojavu površinske korozije, što se sprečava dodavanjem inhibitora u vodu kojom se čisti.



Slika 4. Čišćenje vodenim mlazom [12]

#### 5.5. Čišćenje mlazom abraziva

Čišćenje površine moguće je provesti suhim ili mokrim mlazom čestica (slika 5) čija se kinetička energija u trenutku sudara pretvara u mehanički učinak. Čestice mehanički uklanjaju rahla onečišćenja s površine i utiskuju materijal uz otvrdnjavanje. Čišćenje mlazom abraziva ima najveću iskoristivost od svih postupaka. Postoji nekoliko različitih metoda čišćenja mlazom abraziva [9]:

- centrifugalno čišćenje mlazom abraziva
- čišćenje mlazom abraziva pomoću komprimiranog zraka
- čišćenje mlazom abraziva pomoću vakuuma
- parno čišćenje mlazom abraziva
- mokro čišćenje mlazom abraziva.



Slika 5. Čišćenje oplate broda mlazom abraziva [13]

Suho čišćenje pomoću mlaza abraziva provodi se pištoljima na komprimirani zrak u koje se abraziv dovodi gravitacijski iz spremnika iznad pištolja, nasisno ispod pištolja ili tlačno iz spremnika pod tlakom zraka. Najčešće se primjenjuju tlačni pištolji koji daju brže i gušće mlazove od ostalih, a napajaju se zrakom i abrazivima za obradu iz tlačnih posuda [1].

Centrifugalni suhi postupak zasniva se na raspršivanju sredstava za obradu njihovim privođenjem u središte raspršivača. Nastali se mlaz vodilicama usmjerava prema predmetima. Uglavnom rade s metalnim česticama sačme pa se obično nazivaju sačmarilicama [1].

Mokro čišćenje pomoću mlaza abraziva uglavnom se rabi za finiju obradu pa se često primjenjuje na predmetima koji su grubo obrađeni suhim postupkom. Na 1 kg čvrstih čestica dolazi 2 do 4 dm<sup>3</sup> vode, obično to više što su čestice sitnije. Prednost mokre obrade je što ne nastaje prašina i ne dolazi do deformiranja mehanički osjetljivih predmeta [1].



## 6. Čišćenje mlazom abraziva

Čišćenje mlazom abraziva je upotreba abrazivnog materijala za čišćenje ili obradu površine metala. Pijesak je najčešće korišteno abrazivno sredstvo, zbog čega se i sami postupak čišćenja najčešće naziva pjeskarenje. Ostali abrazivni materijali koji se koriste su: abrazivi ugljena, abrazivi stakla, mineralni abrazivi, metalni abrazivi i sintetički abrazivi. Čišćenje mlazom abraziva se najčešće primjenjuje u brodogradnji, automobilske industriji i drugim industrijama koje koriste pripremu površine prije nanošenja premaznih sredstava. Većina brodogradilišta više ne koristi pijesak kao abraziv zbog bolesti povezanih sa dišnim organima (silikoza) koje uzrokuje silikat [14].

Čišćenje mlazom abraziva možemo definirati kao proces čišćenja i završne obrade materijala direktnim udarom čestica abraziva na površinu materijala. Čestice koje udaraju u površinu materijala mogu biti pogonjene komprimiranim zrakom ili tekućim medijem. Proces čišćenja mlazom abraziva započeo je 1904. godine, a danas se upotrebljava za [15]:

- Čišćenje površine od korozije, boje, kamenca itd., u pripremi površine za nanošenje premaza, eloksiranje, zavarivanje i ostale postupke koji zahtijevaju čistu površinu.
- Uklanjanje srhova nakon obrade, uklanjanje tragova alata nakon obrade ili druge završne procese nakon obrade materijala.
- Promjenu metalurških svojstava materijala.
- Završnu obradu materijala na mat ili poliranu površinu.
- Graviranje ili rezanje materijala kao što su kamen, staklo, metal.

Prema istraživanjima različitih svjetskih kompanija čišćenje mlazom abraziva najčešće se primjenjuje kod čišćenja metalnih površina, i to najčešće čeličnih. Također primjenjuje se i kod čišćenja ili graviranja drvenih, staklenih i plastičnih površina.

Odabir abraziva koji će se koristiti i vrsta opreme koja je potrebna za obavljanje posla ovisi o samoj prirodi površine koja će se tretirati (čišćenje površine od korozije ili starih premaza za nanošenje novog premaza) i o tipu samog čišćenja (uklanjanje srhova, uklanjanje korozije itd.).

Čišćenje mlazom abraziva se smatra najekonomičnijim procesom čišćenja i pripreme površine. Brži je od procesa mehaničkog čišćenja i elektrokemijskog čišćenja te samim time smanjuje vrijeme koje je potrebno za rad. Osim toga, investicija u samu opremu se brzo isplaćuje te je ona dugoročna. Obuka za rad je minimalnog trajanja i niske cijene, a same abrazive je u mnogo slučajeva moguće reciklirati i ponovo upotrebljavati [15].

### **6.1. Opis procesa**

Čišćenje mlazom abraziva uključuje tri komponente:

- Spremnik abraziva.
- Pogonski uređaj.
- Mlaznicu za izbacivanje abrazivnog medija.

Točna oprema se određuje prema veličini površine koja se obrađuje te o vrsti samog abraziva koji se upotrebljava.

Abrazivni materijali koji se koriste kod obrade mogu se podijeliti na: pijesak, trosku, metalnu sačmu ili grit, sintetične materijale i druge. Cijena i svojstva pojedinog abraziva diktiraju njegovu uporabu [15].

## 7. Metode izbacivanja abraziva

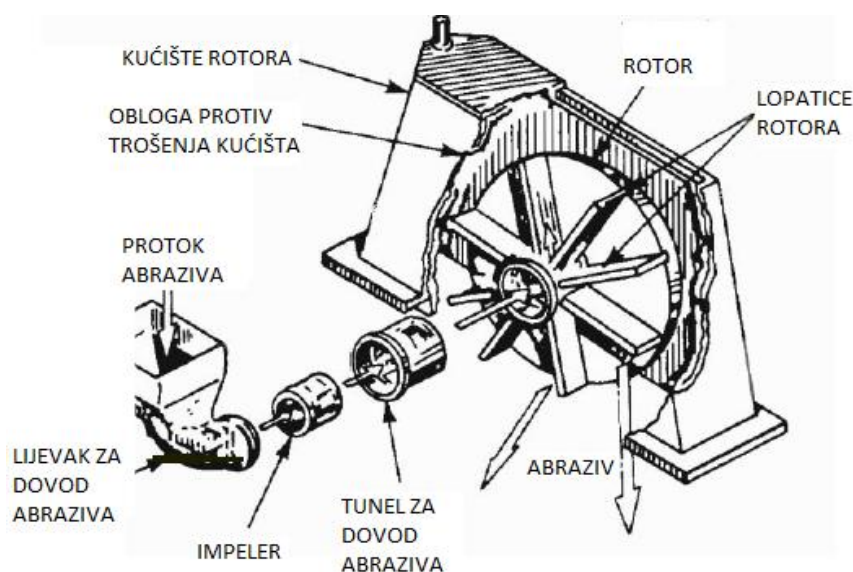
Sami postupak izbacivanja abraziva na površinu materijala može se podijeliti na dva bitna postupka: suhi i mokri postupak.

### 7.1. Metoda suhog čišćenja mlazom abraziva

Kod suhog postupka pjeskarenja postoje dvije metode koje se koriste, a to su: mehaničko pjeskarenje i pjeskarenje pomoću komprimiranog zraka.

#### 7.1.1. Centrifugalni suhi postupak

Centrifugalni suhi postupak pjeskarenja se najčešće koristi kod opreme koja se nalazi u unutarnjem prostoru. Kod centrifugalnog postupka obradak se najčešće stavlja u kabinu za pjeskarenje, te se pomoću centrifugalne sile na njegovu površinu izbacuje abraziv. Ovaj postupak može biti za poluautomatski ili automatski. Najčešće, kabine za pjeskarenje imaju jednu ili više turbina koje izbacuju i usmjeravaju abraziv na površinu obradka pomoću centrifugalne sile. Turbina je pozicionirana tako da osigurava maksimalnu obradivost površine obradka i najveću iskoristivost samog abraziva. Abraziv, koji je očišćen i određene gradacije, je pohranjen u posudu iznad turbine. Abraziv se pomoću gravitacije kreće iz posude prema lijevku za punjenje i ventilu za dovod koji mjeri protok abraziva. Impeler (rotor) prenosi centrifugalnu silu na abraziv, koji se zatim usmjerava kroz tunel. Tunel određuje smjer i oblik kojim će abraziv udariti na površinu materijala. Skica glavnih dijelova centrifugalnog postupka pjeskarenja prikazana je na slici 6.



Slika 6. Prikaz opreme centrifugalnog postupka abrazivnog čišćenja [15]

Rotor se nalazi u zatvorenom kućištu kako bi se spriječilo izbacivanje abraziva u svim smjerovima. Uređaj je podložen visokom trenju i trošenju pa se zbog toga sam rotor izrađuje od materijala koji su otporni na trošenje, primjerice od kaljenog čelika koji mora biti lako zamjenjiv. Sam rotor može biti različitog oblika ovisno o potrebnoj iskoristivosti samog procesa obrade. Obradak se najčešće postavlja na tvrdi gumenu površinu koja služi za apsorpiranje energije udara samih čestica abraziva.

Generalno gledajući, brzina udara čestica abraziva (iznosi oko 76 m/s) i volumen samog abraziva je takav da ovaj proces osigurava visoku iskoristivost u jedinici vremena. Kao rezultat toga, mehaničko čišćenje abrazivom može se primjenjivati za srednju i veliku proizvodnju. Ovaj način čišćenja abrazivom koristi se za obradu lijevanih komada, obradu površine zupčanika, čišćenje koljenastih vratila, osovina, blokova motora, limova i profila [15].

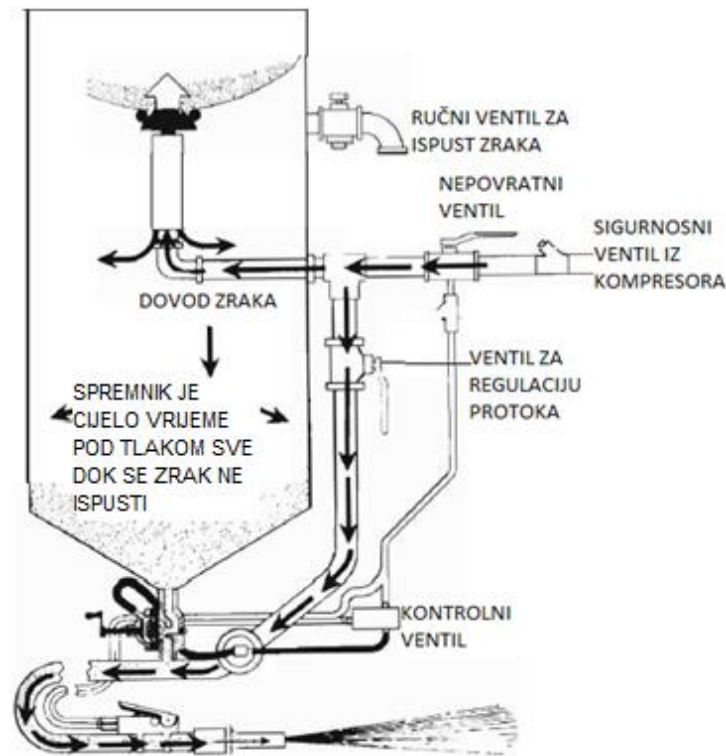
### **7.1.2. Pjeskarenje pomoću komprimiranog zraka**

Pjeskarenje pomoću komprimiranog zraka koristi komprimirani zrak za izbacivanje abraziva na površinu koja se obrađuje. Postoje dvije metode izbacivanja abraziva, a to su:

- Direktno izbacivanje abraziva iz spremnika pod tlakom.
- Dovod abraziva nasisno do pištolja za izbacivanje gdje se abraziv zatim miješa sa komprimiranim zrakom i izbacuje na površinu koja se obrađuje.

#### **7.1.2.1. Direktno izbacivanje abraziva iz spremnika pod tlakom**

Ovom metodom abraziv se nalazi u spremniku pod tlakom te se odvodi u cijev za dovod abraziva do pištolja. Dovod komprimiranog zraka se spaja na gornji dio spremnika abraziva i na cijev za dovod abraziva do pištolja. Pritisak zraka (5-6 bar) mora biti jednak u spremniku i u cijevi za dovod kako bi se osigurao slobodan pad abraziva u samu cijev za dovod abraziva do pištolja. Kako abraziv pada iz spremnika tako se miješa sa komprimiranim zrakom i izbacuje na površinu koja se obrađuje. Kako bi se održao konstantni tlak zraka na cijev za dovod komprimiranog zraka postavlja se nepovratni ventil. Mjerni ventil postavljen je na cijev za dovod zraka kako bi se mogao regulirati protok abraziva ovisno o provrtu mlaznice pištolja. Uređaji za tlačno izbacivanje abraziva mogu biti prijenosni ili u obliku kabina u koje se stavlja sam obradak [15].



Slika 7. Prikaz tlačnog izbacivanja abraziva kod prenosivog spremnika [15]

#### 7.1.2.2. Metoda usisnog sifona

Pištalj za pjeskarenje povezan je sa dovodom komprimiranog zraka i sa fleksibilnim crijevom kojim se dovodi abraziv. Crijevo za dovod abraziva je otvoreno prema atmosferskom zraku odmah ispod lijevka za dovod abraziva. Rezultat toga je da se prolazom komprimiranog zraka kroz pištolj u crijevu za dovod abraziva stvara djelomični vakuum koji usmjerava abraziv prema pištolju gdje se pomoću komprimiranog zraka izbacuje kroz samu mlaznicu. Skica postupka prikazana je na slici 8.



Slika 8. Prikliučak cijevi za dovod abraziva na lijevak s abrazivom [15]

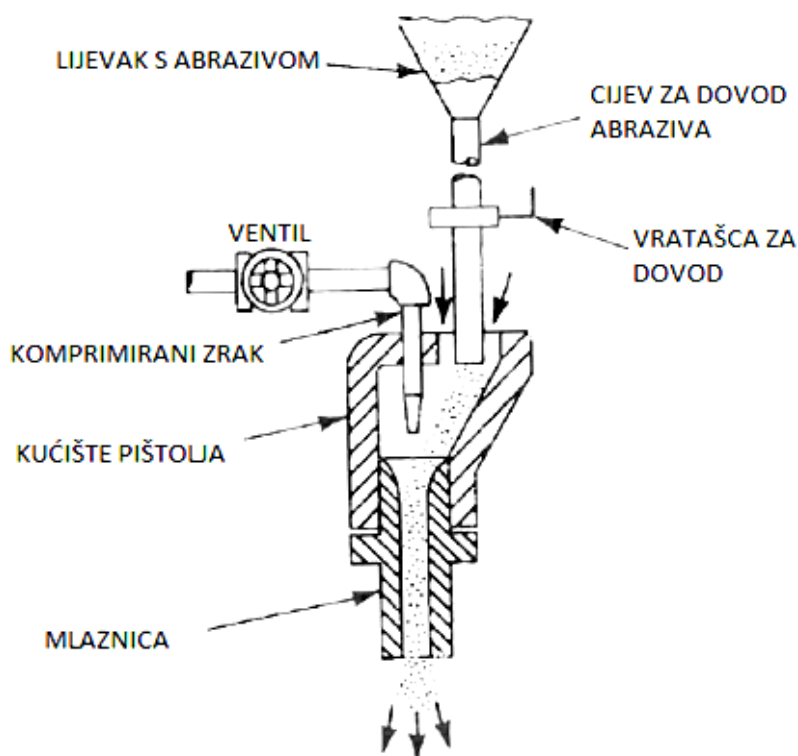
Gumena cijev za dovod abraziva koja povezuje lijevak sa abrazivom i pištolj uobičajeno je duga od 1,5 – 2,5 m.

Abraziv dobiva akceleraciju pomoću protoka zraka kroz pištolj, ali ne doseže brzinu samog komprimiranog zraka koji se dovodi do uređaja. Brzina abraziva na izlazu iz mlaznice iznosi otprilike 40 % od brzine komprimiranog zraka na ulazu u sam uređaj.

Ovaj postupak se upotrebljava u širokom području ručnog pjeskarenja, te iako se može koristiti u kontinuiranom automatiziranom radu ne upotrebljava se mnogo zbog ograničenja na samo lagane abrazive [15].

#### 7.1.2.3. Metoda sa gravitacijskim dovodom abraziva na pištolj

Ova metoda je slična metodi sa usisnim sifonom sa razlikom da se spremnik s abrazivom nalazi na samom pištolju. Zrak ulazi u pištolj i istovremeno se miješa sa abrazivom koji uz pomoć gravitacije i djelomičnog vakuuma ulazi u pištolj. Nagla ekspanzija komprimiranog zraka na izlazu iz mlaznice daje akceleraciju abraziva kojim on udara u površinu obradka. Iako se ova metoda može koristiti za kontinuirani rad, najviše se koristi za posebne namjene kao što je modifikacija same površine radi zaostalih naprezanja. Skica pištolja prikazana je na slici 9 [15].

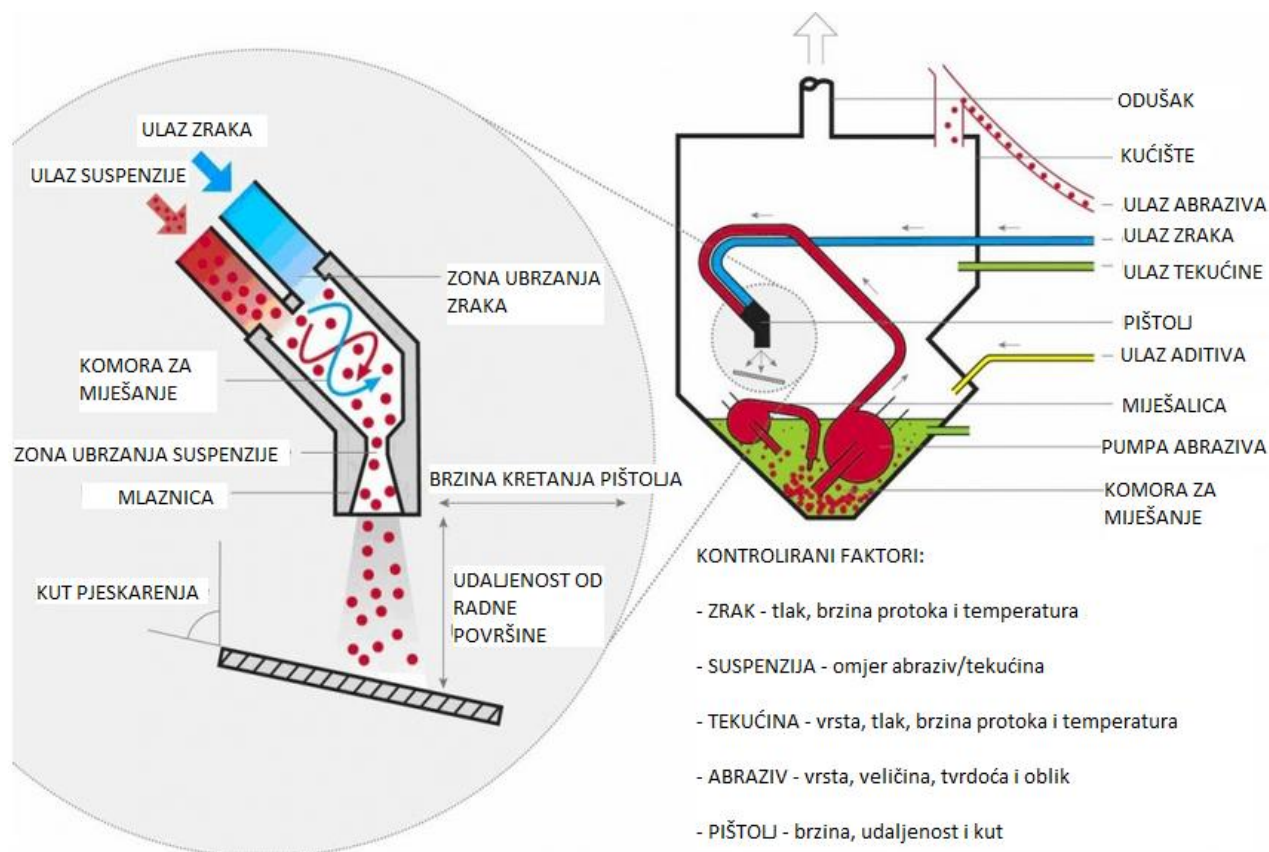


Slika 9. Pištolj sa gravitacijskim dovodom abraziva [15]

## 7.2. Mokro čišćenje mlazom abraziva

Mokro čišćenje mlazom abraziva razvijeno je 50-ih godina prošlog stoljeća od strane Norman Ashwortha, te je bilo izravan odgovor na zabranu korištenja silikata kod suhog pjeskarenja. Ubrzo se došlo do zaključka kako je mokro čišćenje mlazom abraziva puno bolji i efikasniji postupak od suhog. Podmazivanje abrazivnih čestica vodom omogućuje veći protok samih čestica po površini čime dobivamo jednoliko obrađenu površinu sa manjim oštećenjima [16].

Mokro čišćenje mlazom abraziva uključuje veliku brzinu izbacivanja vodene suspenzije direktno na površinu koja se obrađuje. Suspenzija se obično sastoji od abraziva koji su pomiješani u kemijsko obrađenoj vodi. Suspenzija se obično tokom postupka pjeskarenja neprekidno miješa kako se čestice abraziva ne bi taložile na dnu spremnika. Na slici 10 prikazana je skica zatvorene komore za mokro pjeskarenje [15].



Slika 10. Opis opreme za mokro čišćenje mlazom abraziva [16]

Suspenzija se na površinu koja se obrađuje može izbacivati na tri načina [15]:

- a) Strujom komprimiranog zraka koji preko sifona uzima suspenziju i zatim ju izbacuje preko mlaznice pištolja.
- b) Strujom komprimiranog zraka pogoneći suspenziju koja gravitacijski dolazi do pištolja.
- c) Pomoću visokotlačne centrifugalne pumpe koja centrifugalnim postupkom izbacuje suspenziju na površinu koja se obrađuje.

Današnja industrija razvila je nekoliko metoda mokrog čišćenja mlazom abraziva za različite procese obrade površine. Iako sve metode spadaju pod mokro čišćenje mlazom abraziva, ovisno o načinu izbacivanja same suspenzije postoje dva naziva [15]:

- Hidrodinamičko čišćenje mlazom abraziva – abraziv je pomiješan sa vodom i na površinu se izbacuje pomoću mlaza vode.
- Parno čišćenje mlazom abraziva – abraziv se nalazi u vodenoj suspenziji koja se pomoću visokog tlaka komprimiranog zraka izbacuje na površinu u obliku vodene pare.



## 8. Oprema za čišćenje mlazom abraziva

Danas se za čišćenje mlazom abraziva najčešće upotrebljava pet različitih vrsta opreme [15]:

- a) Prijenosna oprema za pjeskarenje.
- b) Ručna oprema za koja se nalazi u sobama za pjeskarenje.
- c) Ručne kabine za pjeskarenje.
- d) Automatski uređaji za pjeskarenje.
- e) Uređaji za mokro pjeskarenje.

### 8.1. Prijenosna oprema za pjeskarenje

Prijenosna oprema za pjeskarenje za rad zahtjeva visoki pritisak komprimiranog zraka (obično oko 6 – 7 bar), spremnik za abraziv, mjerni uređaj za praćenje omjera zraka i abraziva te protoka, fleksibilnu cijev za dovod abraziva i ručni pištolj za usmjeravanje abraziva na radnu površinu. Većina prijenosne opreme za pjeskarenje ima velike spremnike abraziva kako bi se povećala proizvodnost samog procesa [15]. Prijenosna oprema za pjeskarenje prikazana je na slici 11.



Slika 11. Operator i glavne komponente prijenosne opreme za pjeskarenje [16]

## 8.2. Ručna oprema koja se nalazi u komorama za pjeskarenje

Oprema za pjeskarenje je slična prijenosnoj uz razliku da komore imaju puno veće spremnika abraziva. Prednosti komora za pjeskarenje su [15]:

- Uporaba ventilacije tokom samog postupka.
- Smanjenje troškova recikliranja abraziva.
- Prašina tokom postupka pjeskarenja se ne širi van komora, te tako ne zagađuje okolinu i ne izlaže druge radnike potencijalnim opasnostima od udisanja same prašine.

Ovakve komore se najčešće upotrebljavaju kod serijskog čišćenja jednakih dijelova, tako da se konstantno koristi jednaki abraziv. Oprema koju nosi radnik jednaka je opremi kod uređaja za prijenosno pjeskarenje. Na slici 12 prikazano je pjeskarenje u komori.



Slika 12. Pjeskarenje ručnom opremom u komori [17]

## 8.3. Ručne komore za pjeskarenje

Najčešće se koriste za čišćenje malih dijelova koji se mogu držati rukama ili postaviti na rotirajući stol unutar komore. U ovakvim kabinama pjeskarenje je ograničeno samo na prostor unutar kabine, što znači da veličina same kabine određuje veličinu materijala koji se može obrađivati. Komore mogu biti automatske, poluautomatske i manualne. Kod automatskih komora odabire se vrijeme čišćenja koje se može ručno prekinuti, operater nema nikakvog dodira sa samim postupkom. Manualne komore su opremljene staklenim prozorom kroz koji operater može vidjeti površinu koju obrađuje. Ovakve komore imaju dva otvora koja su opremljena gumenim rukavicama u koje operater stavlja svoje ruke kako bi se zaštitio od mlaza abraziva prilikom obrade površine (slika 13).

Komore mogu biti dizajnirane za mokri ili suhi postupak pjeskarenja, te su opremljene sa ventilacijom kako bi se poboljšala vidljivost prilikom obrade [15].



Slika 13. Prikaz pjeskarenja u ručnoj komori [16]

#### 8.4. Automatski uređaji za pjeskarenje

Uređaji su većih dimenzija i složenije izrađeni od ručnih komora za pjeskarenje. Najčešće rade pomoću centrifugalnog rotora, te uključuju tajmere kako bi se automatski regulirala potrošnja abraziva. Materijal koji se obrađuje može se postaviti na rotirajući stol ili na konvejer koji zatim ulazi u komoru za pjeskarenje. Konvejer se može kretati u dva smjera pa samim time može automatski puniti i prazniti komoru. Rotirajući stol služi za čišćenje velikih dijelova. Stol se izvući van komore kako bi se olakšalo punjenje i pražnjenje samog stola. U industriji se najviše upotrebljavaju komore kroz koje prolazi konvejer na kojem se nalazi materijal koji se obrađuje. Ulaz i izlaz konvejera pokriven je gumom kako bi se spriječio izlaz abraziva i prašine iz same komore [15]. Na slici 14 prikazana je oprema za pjeskarenje gdje se materijal dovodi u komoru pomoću konvejera.



Slika 14. Oprema za automatsko pjeskarenje s konvejerom [17]

## 8.5. Uređaji za mokro čišćenje

Ova metoda može se primijeniti kod prijenosnih uređaja kod kojih je moguće da se abraziv pomiješa sa vodom tako tvoreći suspenziju. Uobičajeno je da uređaji za uporabu u industriji koriste konstantno recikliranje suspenzije tokom rada uređaja. U samu suspenziju dodaju se inhibitori korozije. Tipičan primjer korištenja uređaja za mokro pjeskarenje je kod čišćenja golf loptica (300 loptica svakih 5 minuta). Mokro čišćenje površine je pogodno zbog toga što nema štetne prašine. Uređaji mogu raditi na tlaku do 700 bar. Oprema se sastoji od jedinice za napajanje, pumpe, filtra vode, uređaja za mjerenje pritiska i mlaznice za izlaz suspenzije. Oprema za mokro pjeskarenje prikazana je na slici 15. Potrošnja vode iznosi od 1 do 3 m<sup>3</sup>/h [15].



Slika 15. Oprema za mokro pjeskarenje [16]

## 9. Sredstva za pripremu površine mlazom abraziva

Pod sredstva za pripremu površine spadaju razni abrazivni materijali. Abrazivni materijal koji se najčešće primjenjuje u zatvorenom prostoru je čelična sačma. Na otvorenom prostoru se najčešće primjenjuje kvarcni pijesak, ali se on zbog bolesti povezanih sa dišnim putovima sve više istiskuje iz upotrebe.

### 9.1. Kvarcni pijesak

Zbog kancerogenosti sitnih kvarcnih čestica pomiješanih sa zrakom, kvarcni pijesak sve više istiskuju druga sredstva za pjeskarenje. Kod pjeskarenja kvarcnim pijeskom stvara se silikatna prašina koja se udiše jer su čestice toliko sitne da prolaze kroz filtere. Udisanje uzrokuje silikozu, bolest koja se širi na plućima i dugotrajnim izlaganjem uzrokuje raniju smrt. Iako je kvarcni pijesak najčešći abraziv u upotrebi, zadnjih godina, se sve više istiskuje iz upotrebe upravo zbog mnogih istraživanja i dokaza o štetnosti na zdravlje. Kvalitetni kvarcni pijesak mora sadržavati minimalno 97 %  $\text{SiO}_2$ . Na slici 16 prikazan je suhi kvarcni pijesak za pjeskarenje.



Slika 16. Suhi kvarcni pijesak [19]

Ovisno o površini koja se pjeskari odabire se pijesak različite granulacije. Najčešće se odabire suhi kvarcni pijesak granulacije 0,1 – 0,65 mm za finu obradu površine, te 0,5 – 2 mm za grubu obradu površine (za pjeskarenje čeličnih konstrukcija, cijevi i svih drugih materijala sa većim stupnjem onečišćenja od korozije) [18].

### 9.2. Bakrena troska

Bakrena troska, čija je upotreba prihvatljivija, je najbolja alternativa kvarcnom pijesku. Ima veću čvrstoću, tvrdoću i abrazivnost od kvarcnog pijeska, zbog čega se može više puta reciklirati. Granule bakrene troske oštre su i uglate. Bakrena troska sadrži puno manje prašine, zbog čega je i prisutnost prašine pri pjeskarenju ovim materijalom manja. Ovaj abraziv je svestrano upotrebljiv, tako da ga se koristi pri odstranjivanju prljavštine, hrapavljenju, pripremi predmeta prije nanošenja površinske



zaštite itd. Bakrenom troskom se odstranjuju korozija, kamenac, boja i druge nečistoće s čeličnih ili drugih tvrdih površina. Hrapavost površine nakon pjeskarenja bakrenom troskom je ovisna o granulaciji. Bakrena troska ili granos grit je mineralni abraziv koji nije magnetičan, nije agresivan ni topiv, te ne sadrži slobodnih čestica prašine koja izazivaju silikozu. Pjeskarenje bakrenom troskom je idealna priprema površine prije nanošenja zaštitnog premaza [20, 21]. Tehničke karakteristike bakrene troske prikazane su u tablici 2, a izgled granula abraziva na slici 17.

Tablica 2. Tehničke karakteristike bakrene troske [20]

Svojstva	Oblik	Oštar i uglat
	Boja	Crna
	Tvrdoća	>7 Mohs
	Specifična gustoća	3,4 – 3,8 g/cm <sup>3</sup>
	Rasuta gustoća	2 kg/dm <sup>3</sup>
Kemijski sastav	SiO <sub>2</sub>	24 – 34 %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 – 8 %
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40 – 50 %
	Cao	1 – 8 %
Granulacija	0,25 – 2,80 mm	



Slika 17. Bakrena troska [21]

### 9.3. Korund

Korund je materijal čije su čestice uglate i izuzetno oštre. Kao abraziv se nalazi u tri različita oblika koji su prikazani na slici 18.



Slika 18. Vrste korunda [22]

### 9.3.1. Smeđi korund

Aluminij oksid je vrlo tvrd, žilav, abrazivan i izuzetno oštar materijal. Zrnca su uglata i izuzetno oštra. Kvaliteta korunda ovisi o sadržaju  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (od 20 – 96%). Od svih poznatih materijala pjeskarenje korundom je najučinkovitije. To je ekološki materijal jer ne sadrži silikate. Radni vijek korunda je vrlo velik i doseže 20 do 30 ciklusa. Zbog iznimno velike abrazivnosti. Iako se pjeskari i pod manjim tlakom zraka (max. 4 bar), što pogoduje velikim uštedama energije u odnosu na pjeskarenje kvarcnim pijeskom ili metalnim abrazivima [20]. Tehničke karakteristike korunda prikazane su u tablici 3.

Tablica 3. Tehničke karakteristike korunda [20]

Svojstva	Oblik	Uglat
	Boja	Crna
	Tvrdoća	9 Mohs
	Specifična gustoća	5,5 g/cm <sup>3</sup>
	Rasuta gustoća	2,2 – 3,0 g/cm <sup>3</sup>
Kemijski sastav	$\text{Al}_2\text{O}_3$	39 %
	$\text{TiO}_2$	0,90 %
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,30 %
	$\text{SiO}_2$	0,30 %
	Fe	46 %
	Si	7,20 %
	Ti	3 %
Granulacija	0,12 – 2,00 mm	

### 9.3.2. Bijeli korund

Mehanička svojstva bijelog korunda su jednaka kao kod smeđega. Razlika je samo u čistoći, 96 % aluminijev oksid, koji ne sadrži metalnih čestica. Prodaje se u raznim granulacijama i mikrogranulacijama poput staklenih kuglica. Bijeli korund se upotrebljava u slučajevima kada, nakon pjeskarenja, na površini ne smije ostati metalnih čestica: kod površinske obrade nehrđajućeg čelika (inox), u nuklearnoj industriji, pri čišćenju ornamenata na betonu, pri obradi plastike i drveta [22].

### 9.3.3. Miješani korund

Miješani aluminijev oksid je pod proizvod smeđeg aluminijevog oksida odnosno smeđeg korunda. Sastavljen je iz mineralnih i željeznih čestica. Miješani korund se upotrebljava kao alternativa neželjeznim abrazivima za pjeskarenje.

### 9.4. Garnet

Garnet je uglat, kompaktan, tvrdi abraziv mineralnog porijekla. Mljeven je i separiran iz posebne vrste kamena po imenu garnet. U odnosu na druge abrazive mineralnog podrijetla ima prednost jer stvara manje prašine i ima veću trajnost materijala. Koristi se za pjeskarenje, čišćenje, hrapavljenje i profiliranje svih vrsta metala i nemetala [20]. Tehničke karakteristike garneta prikazane su u tablici 4, a izgled samog garneta na slici 19.

Tablica 4. Tehničke karakteristike garneta [20]

Svojstva	Oblik	Uglat
	Boja	Crvena, smeđa, siva
	Tvrdoća	7,5 – 8 Mohs
	Specifična gustoća	4,10 g/cm <sup>3</sup>
Kemijski sastav	SiO <sub>2</sub>	35 %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23 %
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33 %
	MgO	7 %
	CaO	1 %
	MnO	1 %
Granulacija	10 – 120 mesh	



Slika 19. Garnet [22]



## 9.5. Čelična sačma

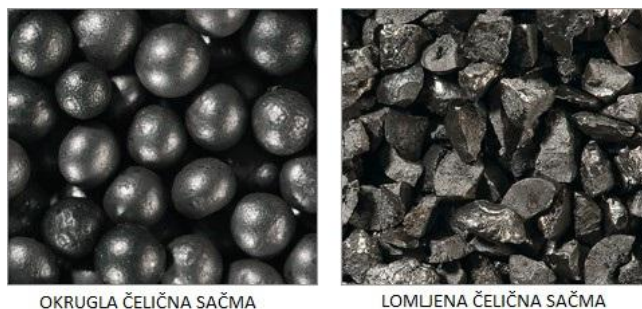
Čelična sačma može biti okruglog oblika ili lomljena. Izdržljiva je, teška i izuzetno tvrda. Koristi se kod pjeskarenja pod tlakom u otvorenim i zatvorenim prostorima. Prije pjeskarenja površina se mora očistiti i odstraniti sve površinske čestice. Posebno je prikladna za čišćenje i pripremu metalnih i betonskih površina [20]. Tehničke karakteristike obje vrste sačme prikazane su u tablici 5, a izgled obje vrste sačme na slici 20.

Tablica 5. Tehničke karakteristike čelične sačme [20]

Svojstva	Oblik	Okrugla	Lomljena
	Boja	Crna	Crna
	Tvrdoća	43 – 48 HRC	Min 60 HRC
	Specifična težina	do 7,5 kg/dm <sup>3</sup>	Do 7,5 kg/dm <sup>3</sup>
	Opterećenje po 1 kg	420 – 448 HV	480 – 550 HV
Kemijski sastav	C	0,85 – 1,2 %	0,85 – 1,2 %
	S	Max 0,04 %	Max 0,04 %
	P	Max 0,04 %	Max 0,04 %
Granulacija		0,40 – 2,40 mm	0,18 – 2,00 mm

Lomljena čelična sačma (grit) ima vrlo visoku čvrstoću i abrazivnost. Granule grita su uglaste. Pri pjeskarenju s ovim abrazivom se postiže jednakomjerna, vrlo hrapava, oštra i mat površina. Upotrebljava se kod tlačnog pjeskarenja (prije svega u komorama za pjeskarenje) i kod turbinskog pjeskarenja. Čeličnim gritom se odstranjuje hrđa, ostaci strojne obrade, ostaci nakon zavarivanja, boje i druge nečistoće sa čeličnih i drugih tvrdih površina. Upotrebljava se i za čišćenje i postizanje većeg profila površine, tako da dobijemo idealno pripremljenu površinu za nanošenje zaštitne prevlake. Pri korištenju grita moramo uzeti u obzir da grit s površine odnosi materijal i da se prilikom pjeskarenja oslobađa puno energije.

Okrugla čelična sačma (čelične kuglice, eng. *shot*) je postojana, teška i ekstremno čvrsta. Čelične kuglice se koriste kod tlačnog pjeskarenja (prije svega u komorama za pjeskarenje) i kod turbinskog pjeskarenja. Nakon pjeskarenja čeličnim kuglicama površina predmeta obrade je očišćena i učvršćena, a uklone se i površinske napetosti. Čelične kuglice su odličan abraziv i pri čišćenju i pripremi betonskih površina. Čelična sačma ima visoku iskoristivost, može se reciklirati 2000 - 3500 puta ovisno o samom sastavu [21].



Slika 20. Čelična sačma [21]

### 9.6. Staklene kuglice – perle

Staklene kuglice se koriste za čišćenje, učvršćivanje i poliranje površine. Upotrebljavaju se za pjeskarenje svih metalnih i nemetalnih predmeta. Najčešće se koriste za pjeskarenje nehrđajućeg čelika u prehrambenoj i u industriji ugostiteljske opreme, ali i za pjeskarenje elektroničkih komponenti i preciznih mehanizama. Česta je njihova upotreba i kod čišćenja zavara na konstrukcijama iz nehrđajućeg čelika. Metalni i plastični predmeti dobivaju nakon pjeskarenja sa staklenim kuglicama mat izgled, površina je antirefleksna i ispolirana. Staklene kuglice se mogu pronaći u granulacijama od 40 – 600  $\mu\text{m}$  ovisno o potrebama. Prosječan kemijski sastav staklenih kuglica prikazan je u tablici 6, a izgled granulata na slici 21 [22].

Tablica 6. Prosječni kemijski sastav staklenih kuglica [22]

$\text{SiO}_2$	Min 65,0 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,5 – 2,0 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Max 0,15 %
$\text{MgO}$	Min 2,5 %
$\text{CaO}$	Min 8,0 %
$\text{Na}_2\text{O}$	Min 14,0 %
Drugo	Max 2,0 %



Slika 21. Staklene kuglice [21]

### 9.7. Stakleni granulati

Pri proizvodnji staklenog granulata se natrijev i kalcijev oksid drobljenjem pripreme do željene granulacije. Stakleni granulati se upotrebljavaju slično kao staklene kuglice - perle, jedino što sa staklenim granulatom postićemo veću hrapavost površine. Izgled staklenog granulata prikazan je na slici 22.



Slika 22. Stakleni granulati [21]

Granulacije koje se najčešće koriste su [22]:

- 130 - 250  $\mu\text{m}$
- 200 - 300  $\mu\text{m}$
- 100 - 600  $\mu\text{m}$
- 600 - 1000  $\mu\text{m}$ .

### 9.8. Keramičke kuglice – perle

Keramičke kuglice (eng. *Ceramic beads*) su materijal za pjeskarenje, napravljen na bazi cirkonija. Keramičke su kuglice abraziv, dobiven procesom taljenja, nakon čega ih se razvrstava po različitim granulacijama. Izgled keramičkih kuglica prikazan je na slici 23.



Slika 23. Keramičke kuglice [21]

Najčešće se nalaze u sljedećim granulacijama [22]:

- 70 – 125  $\mu\text{m}$
- 125 – 250  $\mu\text{m}$
- 250 – 425  $\mu\text{m}$ .

Keramičke kuglice su abraziv za višekratnu upotrebu zbog svoje velike tvrdoće. Odlične su za poliranje i čišćenje površine, a upotrebljavaju se pri injektorskim, tlačnim i turbinskim strojevima za pjeskarenje.

### 9.9. Plastični granulat

Lagani materijal u glastog oblika. Proizvodi se u različitim tvrdoćama za različite namjene korištenja. Uglavnom se upotrebljava za čišćenje, odnosno odstranjivanje boje ili drugih organskih prevlaka. Tom prilikom ne dolazi do oštećivanja osnovnog materijala, tako da je primjeren za apliciranje na aluminiju, obojenim metalima itd. Koristi se i za matiranje plastičnih masa i gume, mikro pjeskarenje i odstranjivanje boje. Izgled plastičnog granulata prikazan je na slici 24.



Slika 24. Plastični granulat [21]

Najčešće se proizvodi u sljedećim granulacijama [22]:

- 1,20 – 1,70 mm
- 0,80 – 1,20 mm
- 0,60 – 0,80 mm
- 0,40 – 0,80 mm
- 0,40 – 0,60 mm
- 0,25 – 0,40 mm
- 0,18 – 0,25 mm.

### 9.10. Soda bikarbona

Soda bikarbona je iznimno mekan i lagan materijal s dobrim osobinama prilikom miješanja s vodom. Zbog toga se soda bikarbona uglavnom koristi u kombinaciji s vodom. Pjeskarenje sa sodom je izvedivo samo posebno prilagođenim aparatima za tlačno pjeskarenje. Upotrebljava se za čišćenje osjetljivih komponenti, kod kojih ne smije doći do oštećivanja osnovnog materijala, za odstranjivanje ulja i masti iz ventila, raznih pogonskih mehanizama, osovina, ležajeva itd. Zbog svojih svojstava primjenjiva je i za odstranjivanje grafita sa fasada i betona, te pri sanaciji objekata i predmeta nakon požara. Abraziv sode bikarbonate prikazan je na slici 25 [21].



Slika 25. Soda bikarbona [21]

## 10. Stupnjevi pripreme površine mlazom abraziva

Kvalitetu pripreme površine mlazom abraziva definira norma ISO 8501 – 1: 2007, koja definira četiri razreda stanja površine prije pripreme (A, B, C, D) i četiri stupnja pripreme površine (Sa 1, Sa 2, Sa 2,5 i Sa 3). Razlikuje se primarna i sekundarna priprema površine.

Primarna priprema površine je priprema limova i profila (ili dijelova prostora, konstrukcija...) koji nisu ranije bili ni na koji način antikorozivno zaštićeni. Uglavnom se provodi u automatskim postrojenjima. Kao abrazivno sredstvo kod primarne pripreme uglavnom se koristi kuglasta čelična sačma, pri čemu se dobije oblik površine koja nema oštih vrhova koji bi mogli probiti tanki mokri premaz.

Sekundarna priprema površine je priprema oštećenih ili propalih dijelova površine, koji su ranije bili zaštićeni temeljnim premazom. Sekundarna priprema najčešće se provodi pomoću oštrobriđne sačme, čime se postiže bolji profil usidrenja premaza na površinu metala [23].

### 10.1. Izgled površine prije i nakon čišćenja mlazom abraziva

Čelične površine koje nikada nisu bile zaštićene sa premazom mogu do različitog stupnja biti pokrivene hrđom, okujinom ili ostalim onečišćenjima (prašina, masnoće, onečišćenja ionima, topivim solima, ostacima, itd.). Početno stanje takvih površina definirano je normom HRN EN ISO 8501 – 1: 2007 „Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda – Vizualna procjena čistoće površine.“

Norma HRN EN ISO 8501–1:2007 identificira 4 početna stanja na čeliku: A, B, C, D (slika 26):

- 1) A – Čelična površina znatno pokrivena sa prijanjajućom okujinom, ali sa malo ili ništa hrđe,
- 2) B – Čelična površina koja je započela hrđati i sa koje se okujina počela ljuskati,
- 3) C – Čelična površina na kojoj je okujina zahrđala i otpala ili se može odstraniti struganjem, a koja pokazuje laganu dubinsku koroziju koja je vidljiva golim okom,
- 4) D – Čelična površina na kojoj je okujina zahrđala i otpala i na kojoj je golim okom moguće vidjeti dubinsku koroziju rasprostranjenu po cijeloj površini.



Norma HRN EN ISO 8501 – 1: 2007 također definira četiri različita stupnja pripreme površine čišćenjem mlazom abraziva koji su prikazani u tablici 7.

Tablica 7. Stupnjevi pripreme površine metodom abrazivnog čišćenja [25]

Sa 1	LAGANO ČIŠĆENJE MLAZOM ABRAZIVA Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, i slabo prijanjajuće okujine, hrđe, premaza i stranih tijela.
Sa 2	TEMELJITO ČIŠĆENJE MLAZOM ABRAZIVA Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. Bilo koji ostaci onečišćenja moraju dobro prijanjati.
Sa 2 ½	VRLO TEMELJITO ČIŠĆENJE MLAZOM ABRAZIVA Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. Bilo koji ostaci onečišćenja smiju biti prisutni samo u vidu laganih mrlja nalik na točkice ili pruge.
Sa 3	ČIŠĆENJE MLAZOM ABRAZIVA DO VIZUALNO ČISTOG ČELIKA Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. Površina mora imati ujednačenu metalnu boju.

Primjer stanja površina prije i nakon čišćenja mlazom abraziva dan je na slici 26.

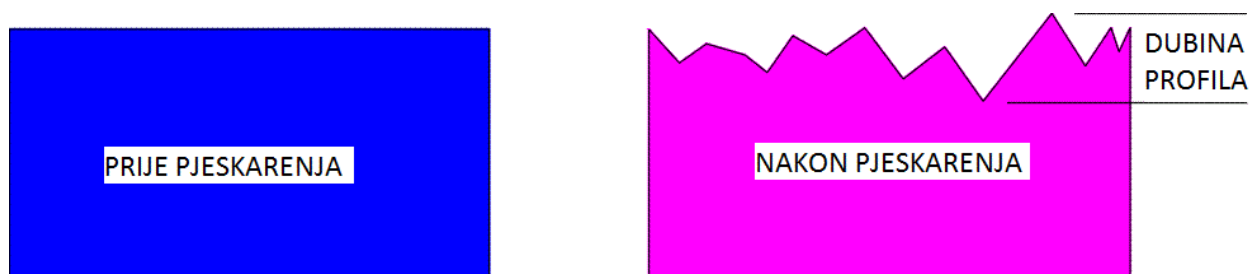


Slika 26. Stanje površine prije i nakon pripreme [24]

## 10.2. Odabir abraziva prema vrsti premaza koji se nanosi

Dugotrajnost zaštite premazima ovisi o pripremi površine prije nanošenja samog premaza. Najkvalitetniji i najskuplji premaz može imati loša zaštitna svojstva ukoliko površina na koju se nanosi nije dobro pripremljena.

Glatka površina uzrokuje da premaz slabo prijanja jer na njoj nema udubina u koje bi se mogao usidriti. Kao primjer može se navesti staklo gdje ukoliko se na njega ne nanese premaz već samo potezanje noktom skida sam premaz. Suprotno tome, ukoliko površina ima grubi profil sam premaz je vrlo teško skinuti sa nje. Čišćenje površine mlazom abraziva stvara profil površine koji više nije ravan, već ima vrhove i udubine (tzv. zub) u koje se premaz može usidriti (slika 27).



Slika 27. Profil površine prije i nakon pjeskarenja [26]

Čistoću i dubinu samog profila određuje premaz koji se nanosi, ali i sama cijena čišćenja. Čišćenje do vizualno čistog čelika (Sa 3) košta 4 – 5 puta više od samo laganog čišćenja mlazom abraziva (Sa 1). Različiti premazi zahtijevaju različite dubine samog profila, ali generalno gledajući dubina profila ne bi smjela biti veća od 1/3 suhog filma premaza. Površina mora biti dovoljno gruba da se premaz može usidriti, ali opet ne previše gruba da vrh zuba profila ne bi probio premaz. Premazi koji se nanose u tankom sloju zahtijevaju plići profil te se za njih odabiru abrazivi koji nemaju oštre bridove (npr. okrugla čelična sačma) kako bi se dobio profil bez oštih vrhova koji bi mogli probiti premaz. Premazi koji se nanose u debljem sloju zahtijevaju grublju površinu i dublji profil, te se za pripremu najčešće koriste abrazivi za oštrijim rubovima (npr. čelični grit) kako bi se premaz što bolje usidrio [26].



## 11. Utjecaj čišćenja abrazivom na okoliš

Pjeskarenje uzrokuje zagađenje zraka zbog velike količine nastale prašine koja može sadržavati različite toksične sastojke (u slučaju kada se skidaju stari premazi koji sadrže teške metale i policikličke aromatske ugljikovodike). Također nastaju velike količine krutog otpada koji se sastoji od abrazivnog sredstva, različitih tvari iz starih premaza koje mogu biti toksične, te korozijskih produkata uklonjenih s površine (npr. oko 5000 tona kod čišćenja velikog mosta). Dakle, ovi postupci mogu dovesti do mnogostrukog opterećenja okoliša zbog velikih količina otpadnog materijala koji u sebi može sadržavati toksične tvari pa se mora zbrinjavati kao opasni otpad [27].

Zbog velikih količina nastale prašine, postupak obrade površine mlazom abraziva može biti vrlo opasan za zdravlje radnika koji izvode ovaj postupak. Naime, duža izloženost ovoj prašini može dovesti do pojave oboljenja poznatih kao pneumokonioze. Pneumokonioze su bolesti pluća uzrokovane udisanjem anorganskih čestica. To su najčešće profesionalne bolesti, jer pogađaju ljude koji su zaposleni u industrijskim pogonima. U razvoju bolesti, najvažniji faktor je sposobnost inhaliranih čestica za izazivanje fibroze. Ostali faktori, koji su također važni su veličina čestica, vremenski period izloženosti anorganskim česticama i osjetljivost koja ovisi od čovjeka do čovjeka. Najčešći primjeri ove bolesti su silikoza i azbestoza.

Danas se intenzivno traga za nekim alternativnim postupkom koji bi zamijenio čišćenje mlazom abraziva.

Jedan od novih načina obrade površine je „*Sponge jet system*“ u kojem je metalni abraziv obložen vodotopljivom poliuretanskom spužvom koja je za njega kemijski vezana. Spužva upija boju, korozijske produkte i nečistoće uklonjene s površine. Prednost ove tehnike je u smanjenju prašine (do 94 %) i u mogućnosti ponovne upotrebe oko 85 – 90 % čestica, a same čestice se mogu reciklirati 5 – 15 puta pa je i količina otpada znatno smanjena [27].

Drugi način čišćenja površine mlazom abraziva koji polagano ulazi u upotrebu je čišćenje ledom. Ovaj postupak koristi zrak pod tlakom, zaleđenu vodu i natrijev hidrogenkarbonat. Čestice suhog leda udaraju o površinu metala i pri sudaru se raspršuju uz oslobađanje CO<sub>2</sub>, a korozijski produkti i nečistoće se skupljaju u vodi koja se zbrinjava.

Ledeni abraziv ima trostruko djelovanje na površinu:

- Mehanički udar – uzrokuje odvajanje čestica s površine.
- Toplinski šok – dovodi do smrzavanja površinskih onečišćenja i slabljenja površinskih veza.
- Sublimacija CO<sub>2</sub> – pomaže odnošenju površinskih oštećenja.

Čišćenje suhim ledom je učinkovito u uklanjanju boje, brtvila, ugljičnih i korozijskih naslaga, masti, ulja, i ljepila, kao i za čišćenje pločica u tiskarskim sklopovima. Nadalje, zbog ugljičnog dioksida čišćenje ledom nije abrazivna operacija, te je odlična za dijelove koji su jako osjetljivi. Ovaj proces također pruža izvrsnu pripremu površine prije nanošenja premaza ili ljepila, i pogodan je za većinu metala i nekih kompozitnih materijala. CO<sub>2</sub> čišćenje može se raditi različitim brzinama. Također, oprema proizvodi visoku razinu buke (između 95 i 130 dB), tako da operacija uvijek zahtijeva zaštitu sluha. Čišćenje i odlaganje otpada je minimalno, jer nakon rada ostaju samo premaz ili kontaminirani ostatci. Nema tekućeg otpada jer CO<sub>2</sub> kuglice sublimiraju u plin, ne ostavljajući ostatke. S obzirom na kontrolu onečišćenja zraka, male količine onečišćenja se emitiraju u zrak, tako da je standardni sustav filtriranja zraka dovoljan [27].

## **12. Utjecaj oblika čestica i parametara obrade na profil hrapavosti površine**

Prije obrade površine mlazom abraziva potrebno je znati karakteristike abraziva i parametre obrade, te kakva se površina nakon obrade žele postići. Postoje različiti abrazivi, a oni se prvenstveno razlikuju po granulaciji, tvrdoći, obliku i masi. Svako od navedenih svojstava abraziva utječe na odabir parametara i svojstva površine nakon obrade.

### **12.1. Granulacija abraziva**

Veličina čestica abraziva prvenstveno utječe na produktivnost i profil površine nakon obrade. Smanjenjem granulacije abraziva može se drastično povećati produktivnost, zbog veće količine čestica koje udaraju o površinu za razliku od korištenja veće granulacije. Kod skidanja tvrdih premaza, prevlaka i kod skidanja srhova nakon strojne obrade, potrebno je koristiti abrazive veće granulacije. Pravilo koje se koristi primjenjuje kod odabira čestica glasi: „Koristiti najmanju granulaciju abraziva koja će odraditi posao“.

Grubi abrazivi ostavljaju dublji i manje ujednačen profil površine, nego što ga ostavljaju fini abrazivi. Ukoliko je potrebno imati ujednačen profil površine i manju hrapavost koriste se abrazivi manje granulacije. Najčešće se koriste veoma grubi abrazivi, zbog toga što dobro uklanjaju boju, hrđu, srhove od strojne obrade i ostale nečistoće. Međutim, grubi abrazivi prilikom obrade pokrivaju manji dio površine od finijih abraziva te smanjuju brzinu obrade [28].

### **12.2. Tvrdoća abraziva**

Generalno gledano, tvrdi abrazivi imaju bolja svojstva obrade. Međutim, abrazivi visoke tvrdoće imaju tendenciju lomljenja čestica pri udaru o površinu, tako trošeći većinu energije na raspadanje i stvaranje prašine. Mekši abrazivi će svu energiju, prilikom udara, prenijeti na površinu, te tako povećati brzinu pripreme površine i smanjenje nastanka prašine. Slično kao i kod odabira granulacije, prilikom odabira tvrdoće abraziva potrebno je odabrati najmekši abraziv koji će moći efikasno pripremiti zadanu površinu. Tvrdi abrazivi će efikasno ukloniti sve premaze, prevlake i površinske nečistoće, te će stvoriti hrapavi površinski profil. Vrlo meki abrazivi će ukloniti sve površinske nečistoće, kao što su ulja, masti i mekši premazi, te neće stvoriti novi profil hrapavosti površine. U ovom slučaju je potrebno da se čestice abraziva prilikom udara o površinu odlome, te tako s površine odnose nečistoće.

Ako je sa površine potrebno samo skinuti boju, a da profil hrapavosti ostane netaknut, koriste se malo tvrđi i krhki abrazivi, kao što su: soda, suhi led i plastični granulat [28].

### 12.3. Oblik čestica abraziva

Kod čelične površine na koju je nanesen meki i savitljivi premaz koristit će se oštrobriđni abrazivi. Suprotno tome, ukoliko je na površinu nanesen tvrdi i krhki premaz ili prevlaka koristit će se okrugli abrazivi koji će energijom udara odvojiti premaz ili prevlaku od površine. Oštrobriđni abrazivi stvaraju oštri i nejednoliki profil površine, dok se okruglim abrazivima postiže manje oštar i ujednačeniji profil površine. Općenito, oštrobriđni abrazivi su najefikasniji kod skidanja mekih i savitljivih premaza, dok su okrugli abrazivi efikasniji kod skidanja tvrdih i krhkih premaza te srhova nakon strojne obrade. Kod pripreme površine prije nanošenja premaza oštrobriđni abrazivi se koriste za premaze većih debljina, dok se okrugli abrazivi koriste za premaze manjih debljina. Ukoliko je tako specificirano moguće je koristiti i mješavinu okruglog i oštrobriđnog abraziva, te tako ostvariti kompromis između njihovih svojstava [28].

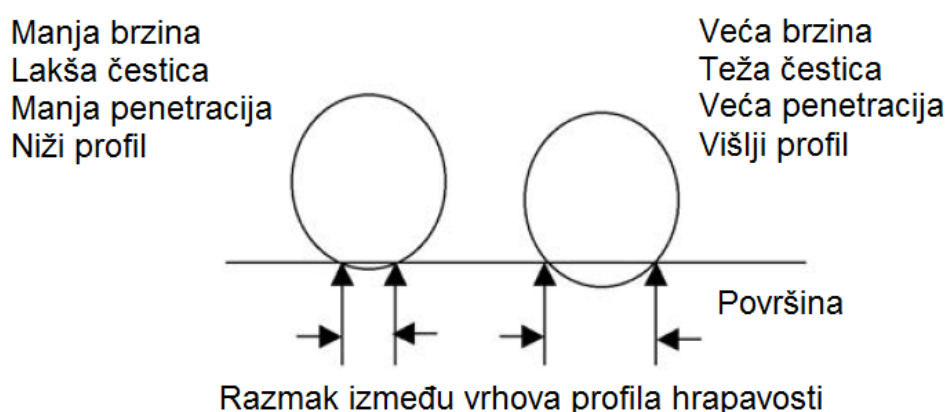
### 12.4. Masa (gustoća) čestica abraziva

Gustoća abraziva ima glavni utjecaj na produktivnost postupka obrade površine, tj. veća gustoća daje veću produktivnost. Veća gustoća abraziva prenosi veću energiju udara na površinu, te tako obavlja više posla. Brzina primjene je količina abraziva potrebnog da bi se postigao određeni stupanj čistoće površine. Što je gustoća abraziva veća, obrada je brža, te je potrebna manja količina istog. Porastom mase čestice abraziva raste i rad koji ona obavlja. Ukoliko se ostave isti parametri obrade (tlak izbacivanja čestica i granulacija), a promjeni vrsta abraziva, promijenit će se i produktivnost. Zbog toga se, ukoliko se pripremaju velike površine, prvo testiraju različite vrste abraziva i njihovi parametri kako bi se postigla najviša učinkovitost uz najmanje ekonomske troškove [28].

### 12.5. Brzina čestice abraziva

Uz veličinu, tvrdoću, masu, veliku ulogu u izgledu profila hrapavosti površine nakon obrade ima i brzina čestica abraziva. U praksi je visinu i razmak između vrhova profila hrapavosti najlakše kontrolirati promjenom brzine čestica abraziva (slika 28). Promjena samog abraziva iziskuje više vremena i novaca. Povećanjem brzine udara čestice o površinu dobiva se veća penetracija čestica u površinu, te se tako povećava visina vrhova profila hrapavosti.

Kod mehaničkih postupaka obrade površine česticama abraziva brzina se povećava tako da se poveća brzina okretanja rotora turbine. Kod postupka obrade pomoću komprimiranog zraka brzina čestica povećava se odabirom mlaznice ili povećanjem tlaka izbacivanja čestica abraziva. U sudaru abrazivnih čestica i površine metala najviše energije se pretvara u toplinu. Da bi se točno izračunalo koliko se rada utroši prilikom obrade, trebalo bi izračunati gubitke toplinske energije, što dovodi do kompliciranih proračuna. Zbog toga se prilikom odabira parametara obrade iskustveno uzima da se čestica koja je teža, tvrđa i ima veću brzinu obavlja više rada. Kod odabira maksimalne brzine izbacivanja čestica kod mehaničkog postupka treba voditi računa o tome da se krhke čestice (npr. kvarcni pijesak) pri prevelikim brzinama obrade lome pri udaru o površinu. Kod postupka s komprimiranim zrakom brzinu čestice uvjetuje njezina krhkost, ali i maksimalni tlak koji uređaj može postići. Također, povećanjem tlaka dobiva se veće zaprašivanje, te je teže kontrolirati postupak obrade [28].



Slika 28. Utjecaj parametara obrade na profil hrapavosti [28]

## 12.6. Produktivnost i potrošnja abraziva

Abraziv se odabire ovisno o materijalu koji se obrađuje te o željenoj kvaliteti površine. Primjerice, prednost čelične sačme je visoki stupanj recikličnosti te relativno niska cijena u odnosu na plastični granulat koji, unatoč visokoj cijeni, ima najnižu recikličnost. Produktivnost i potrošnja abraziva znatno ovise o obliku materijala koji se obrađuje, izlaznom tlaku te kvaliteti površine. Za šipkaste materijale potrošnja abraziva biti će znatno veća, a produktivnost niska. U tablici 8 dane su okvirne vrijednosti produktivnosti i potrošnje abraziva kod pripreme jednake površine.

Tablica 8. Usporedba glavnih parametara abraziva [29]

Abraziv	Cijena (\$/1000kg)	Produktivnost (m <sup>2</sup> /h)	Potrošnja (kg/m <sup>2</sup> )	Brzina uklanjanja tanjih premaza	Brzina uklanjanja debljih premaza	Broj ciklusa	Prašina
Čelične kuglice	440	22	25	Visoka	Vrlo visoka	500	Vrlo niska
Čelični grit	400	16	27	Srednja	Srednja	500	Niska
Staklene kuglice	500	23	23	Visoka	Visoka	15 – 20	Vrlo niska
Korund	325	24	18	Vrlo visoka	Srednja	20 – 30	Vrlo niska
Bakrena troska	50	18	15	Srednja	Visoka	400	Vrlo niska
Keramičke kuglice	380	16	15	Srednja	Srednja	70 – 90	Vrlo niska
Plastični granulat	1500	20	17	Srednje visoka	Srednje visoka	10 - 15	Vrlo niska

### 13. Utjecaj pripreme površine na prionjivost organskih premaza

Na prionjivost organskih premaza na čelične površine utječe niz parametara. Prema normi HRN EN ISO 8503- 4: 2012 parametri koji utječu na prionjivost premaza su:

- Korozijski produkti i produkti željeznog oksida.
- Nečistoće, kao što su prašina, ulja, masti i soli.
- Profil površine (hrapavost).

Gore navedeni uvjeti utječu na odabir postupaka pripreme površine za nanošenje premaza.

Kod nanošenja premaza bitno je da na površini nakon pripreme nema zaostalih čestica abraziva. Zaostale čestice abraziva najčešće se javljaju na površini koja je pripremljena suhim mlazom abraziva. Površina koja je pripremljena mokrim mlazom najčešće ima nizak udio kontaminacije abrazivom zbog toga što mlaz vode ujedno čisti i odnosi čestice abraziva sa površine.

Tokom pripreme površine mlazom abraziva dolazi do utiskivanja čestica abraziva u površinu, te kontaminacije same površine. Postotak kontaminacije površine utisnutim česticama je veći ako se upotrebljava abraziv koji ima oštre bridove (grit). Prionjivost premaza koji se nanosi ovisi o postotku kontaminacije površine zaostalim česticama abraziva kao i o kompatibilnosti premaza sa površinom i abrazivom. Utisnute čestice abraziva sprečavaju direktan kontakt premaza i površine te tako smanjuju njegovu prionjivost.

Za najbolju prionjivost premaza i korozijsku postojanost potrebno je pronaći ravnotežu između pripreme površine i vrste premaza koji se nanosi. Priprema površine mokrim mlazom abraziva stvara najbolju podlogu za nanošenje premaza [30].

## 14. Eksperimentalni dio

Cilj eksperimentalnog dijela rada bio je utvrditi kakav utjecaj priprema površine ima na prionjivost i zaštitna svojstva prevlake. U eksperimentu je korišteno 26 uzoraka. Svih 26 uzoraka pripremljeno je u Laboratoriju za ljevarstvo, Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Uzorci su pripremljeni mlazom abraziva, koristeći tri različita abraziva i dva različita tlaka obrade. Kao premaz korištena je dvokomponentna sjajna poliuretanska lak boja tvrtke Hempel. Prije nanošenja premaza izmjerena je hrapavost uzoraka pomoću uređaja „Elcometer 224“ te pomoću uređaja „Taylor Hobson Surtonic 25“. Nakon nanošenja premaza i sušenja izmjerena je debljina premaza pomoću uređaja „Elcometer 456“. Prije i poslije nanošenja premaza uzorci su pregledani pod mikroskopom „Leica MZ6“, te pod optičkim mikroskopom „Olympus GX51“.

Zaštićeni uzorci ispitani su u slanoj i vlažnoj komori. Poslije slane i vlažne komore napravljena su ispitivanja prionjivosti premaza metodom mrežice (eng. *Cross-cut test*), te vlačnom metodom (eng. *Pull-off test*).

### 14.1. Priprema uzoraka za ispitivanje

Za ispitivanje je korišteno 26 uzoraka koji su pripremljeni u Laboratoriju za ljevarstvo Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Uzorci su pripremljeni u komori za pjeskarenje „Contracor CAB 110P“ koja je prikazana na slici 29. Ova vrsta komore koristi se u industriji. Sastoji se od komore, injektorskog sistema pjeskarenja, cijevi za dovod abraziva i pulsirajućeg filtra na kolektoru prašine. Koristi se za čišćenje, završnu obradu, učvršćivanje površine, te dekorativnu obradu. Izrađena je za dugotrajno korištenje u industriji za primjenu laganih i sitnih abraziva. Dizajnirana je za rad s materijalima kao što su: aluminij oksid (korund), silicijev karbid, garnet, staklene kuglice, čelična sačma (grit), čelične kuglice, aluminijev silikat, te plastični granulat.





Slika 29. Komora za pjeskarenje „Contracor CAB 110P“, Laboratorij za ljevarstvo, FSB, Zagreb

Obradak se u komoru stavlja kroz vrata, zatim se vrata zatvaraju te se kroz otvore na komori provuku ruke u posebne gumene rukavice kojima se obradak može držati i okretati unutar komore tokom same obrade mlazom abraziva. Na vrhu komore nalazi se staklo kroz koje operater ima pogled na sam postupak obrade, te manometar s ventilom za podešavanje tlaka smjese zraka i abraziva. Pištolj za izbacivanje abraziva napravljen je od laganog plastičnog materijala sa mlaznicom od wolfram - karbida. Izbacivanje abraziva vrši se pritiskom na nožnu pedal. Tokom obrade, abraziv konstantno reciklira putem filtra, te se dio vraća natrag u upotrebu, dok se dio koji se ne može upotrijebiti izbacuje u posudu. Uzorci za ispitivanje su obrađeni na dva različita tlaka (4 i 6 bar), te sa tri različita abraziva (slika 30):

- Aluminijev oksid (korund) F100, granulacije: 106 – 150  $\mu\text{m}$ .
- Lomljena čelična sačma (grit) GH50, granulacije: 200 – 600  $\mu\text{m}$ .
- Kvarcni pijesak, granulacije: 200 – 1200  $\mu\text{m}$ .



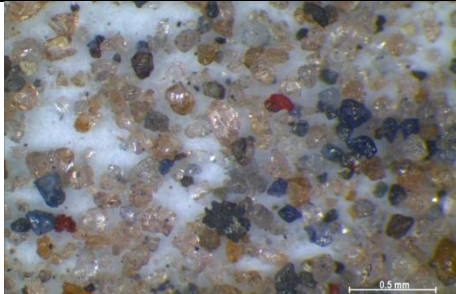
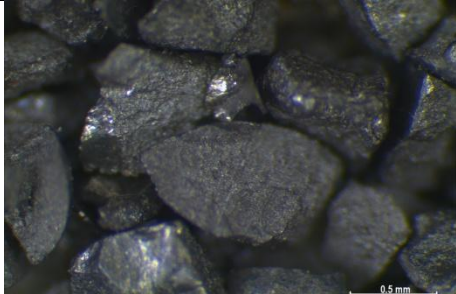

Slika 30. Prikaz korištenih abraziva, Laboratorij za ljevarstvo, FSB, Zagreb

Granulacija abraziva ispitana je stereo mikroskopom „Leica MZ6“. Ispitivanje mikroskopom prikazano je na slici 31, a rezultati ispitivanja granulacije u tablici 9. Ispitivanja su izvršena u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.



Slika 31. Ispitivanje mikroskopom „Leica MZ6“, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb

Tablica 9. Rezultati ispitivanja granulacije abraziva

ABRAZIV	UVEĆANJE 50x	PROSJEČNA GRANULACIJA NA 10 MJERENJA
Korund		143 $\mu\text{m}$
Čelična sačma		502 $\mu\text{m}$
Kvarcni pijesak		293 $\mu\text{m}$

Iz provedenih mjerenja prema tablici 9 može se zaključiti da su granulacije sva tri abraziva u granicama koje je proizvođač naveo. Prema rezultatima mjerenja ističe se korund čija je izmjerena prosječna granulacija blizu gornje granice navedene od strane proizvođača, te kvarcni pijesak čija je granulacija blizu donje granice navedene od strane proizvođača. Rezultati mjerenja ovise o izuzetom uzorku te je bitno da su oni u zadanim rasponima.

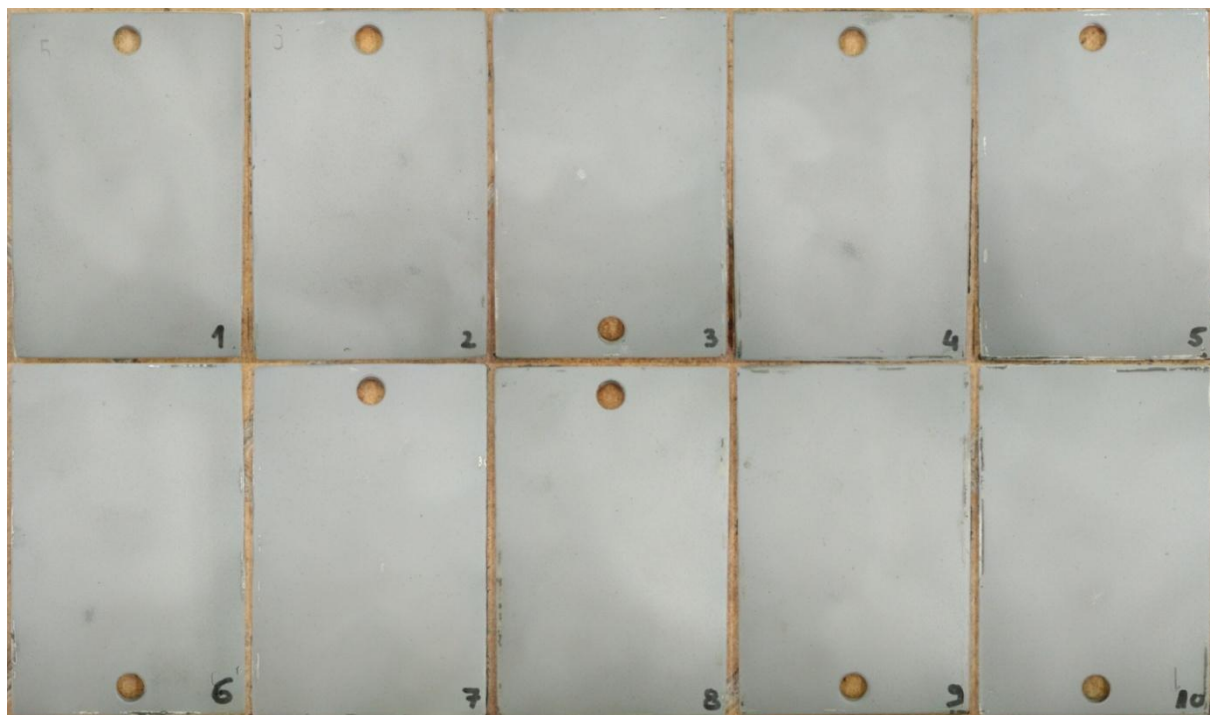
Sve tri vrste abraziva izbacivane su na uzorke pod tlakom od 4 i 6 bar, te je mjereno vrijeme potrebno za obradu svakog uzorka. Na slici 32 je prikazana obrada uzoraka u komori, obrađeni uzorci prikazani su na slikama 33, 34 i 35, a rezultati obrade prikazani su u tablici 10.



Slika 32. Obrada uzoraka u komori za pjeskarenje

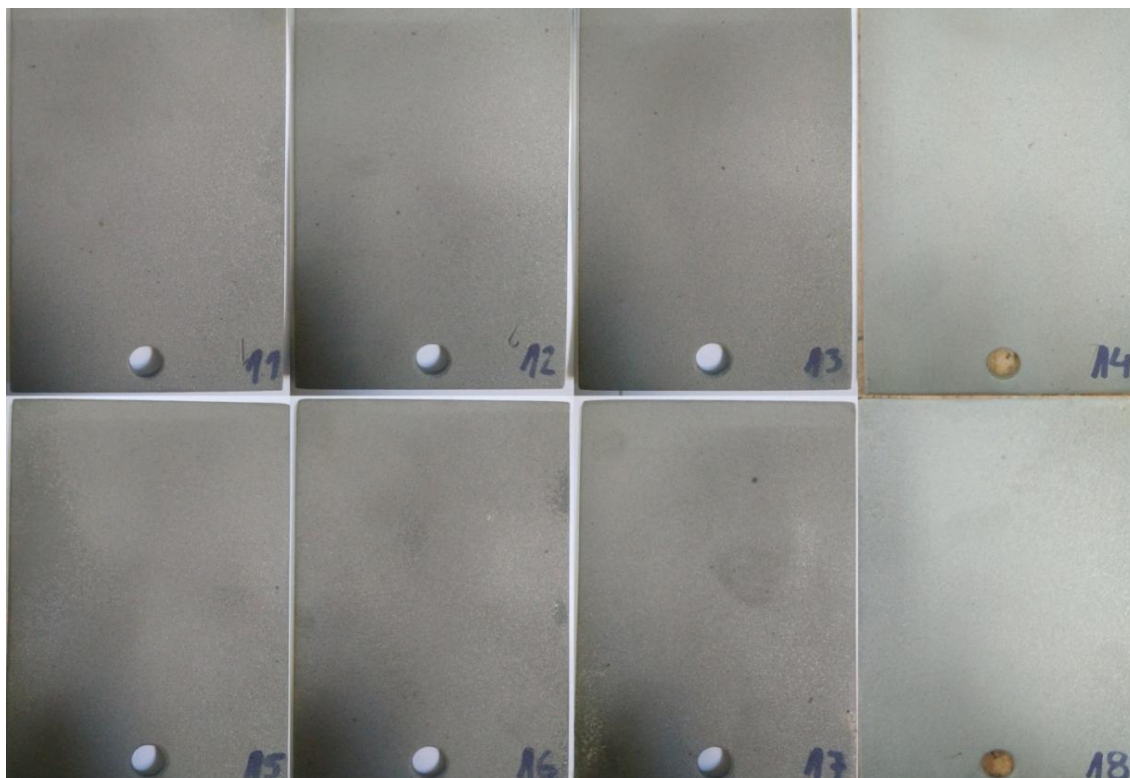
Na slici 33 prikazani su uzorci obrađeni aluminijevim oksidom ili korundom. Uzorci 1, 2, 3, 4, 5 obrađeni su korundom pod tlakom od 4 bar, dok su uzorci 6, 7, 8, 9 i 10 obrađeni pod tlakom od 6 bar.





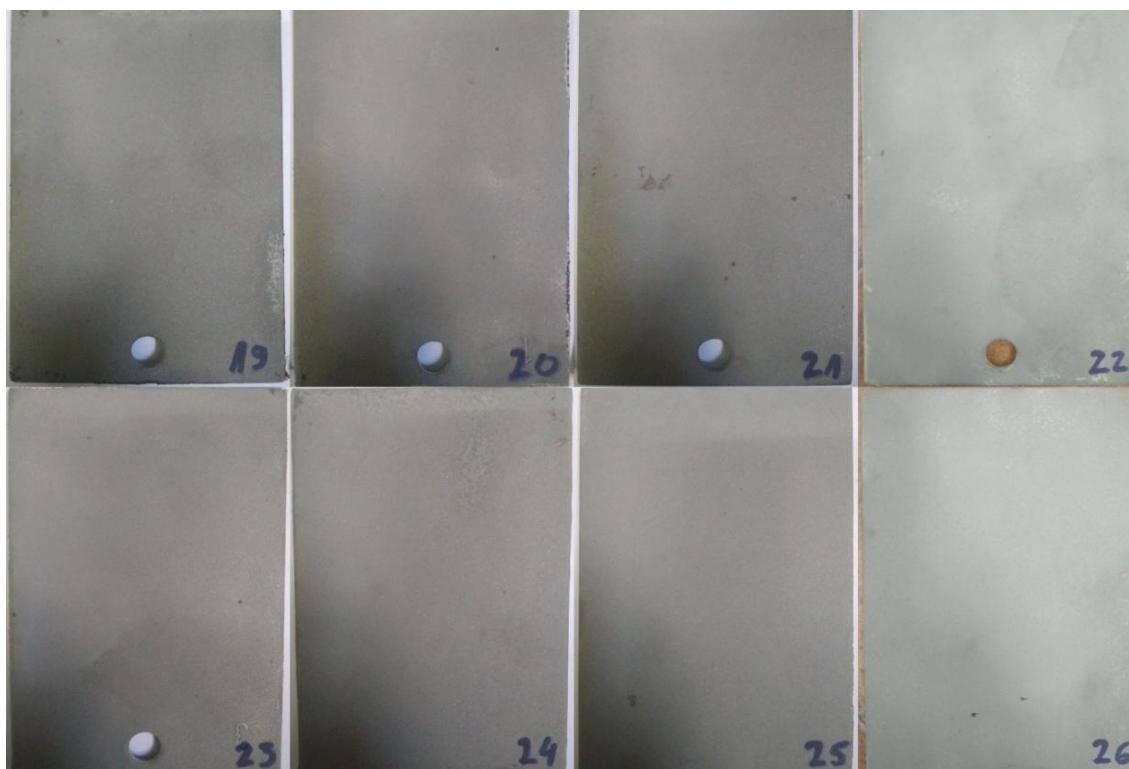
Slika 33. Uzorci obrađeni korundom

Na slici 34 prikazani su uzorci obrađeni lomljenom čeličnom sačmom ili gritom. Uzorci 11, 12, 13 i 14 obrađeni su gritom pod tlakom od 6 bar, dok su uzorci 15, 16, 17 i 18 obrađeni pod tlakom od 4 bar.



Slika 34. Uzorci obrađeni lomljenom čeličnom sačmom

Na slici 35 prikazani su uzorci obrađeni kvarcnim pijeskom. Uzorci 19, 20, 21 i 22 obrađeni su pijeskom pod tlakom od 4 bar, dok su uzorci 23, 24, 25 i 26 obrađeni pod tlakom od 6 bar.



Slika 35. Uzorci obrađeni kvarcnim pijeskom

Iz slika 33, 34 i 35 vidljivo je da nema vizualnih razlika između uzoraka obrađenih istim abrazivom, ali različitim tlakom (4 ili 6 bar). Razlika je vidljiva između uzoraka koji su obrađeni različitim abrazivom. Uzorci obrađeni korundom vizualno imaju najfinije obrađenu površinu, dok uzorci obrađeni lomljenom čeličnom sačmom vizualno imaju grublji profil površine. Uzorci obrađeni kvarcnim pijeskom nakon obrade na površini imaju najveći sloj ostataka abraziva koji je u obliku prašine bijele boje. Svi uzorci nakon obrade su očišćeni od ostatka abraziva pomoću komprimiranog zraka.

U tablici 10 prikazano je vrijeme potrebno za obradu pojedinog uzorka, tlak kojim je uzorak obrađen, te kojom vrstom abraziva je provedena obrada.

Tablica 10. Prikaz parametara obrade uzoraka

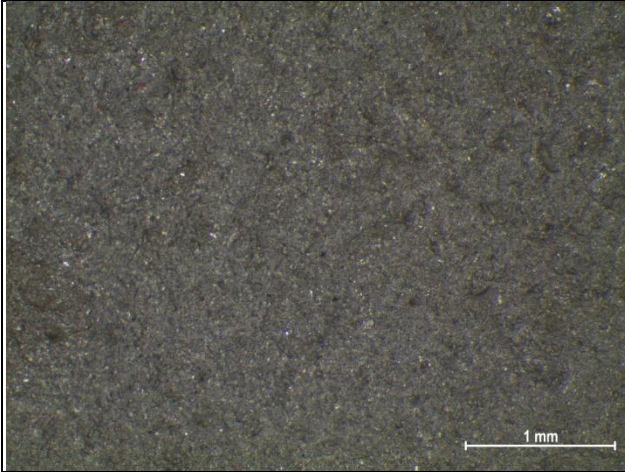
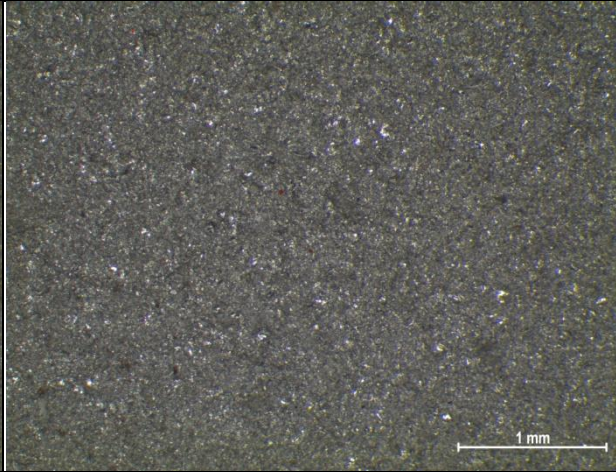
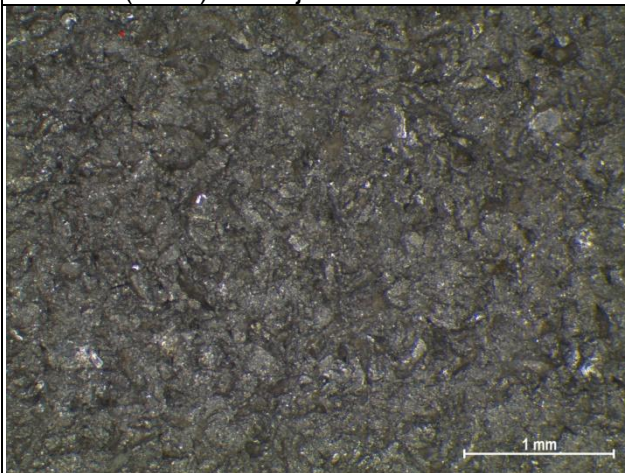
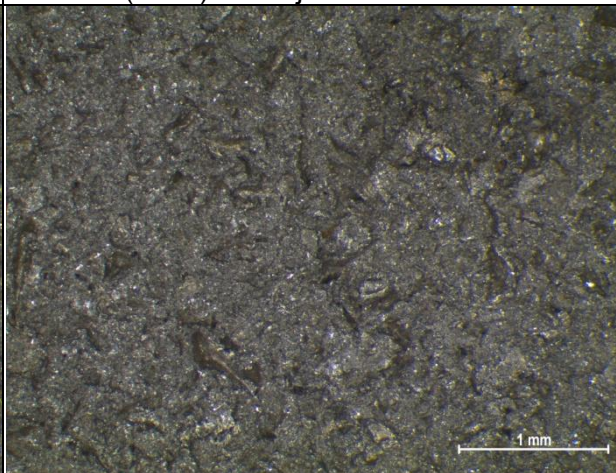
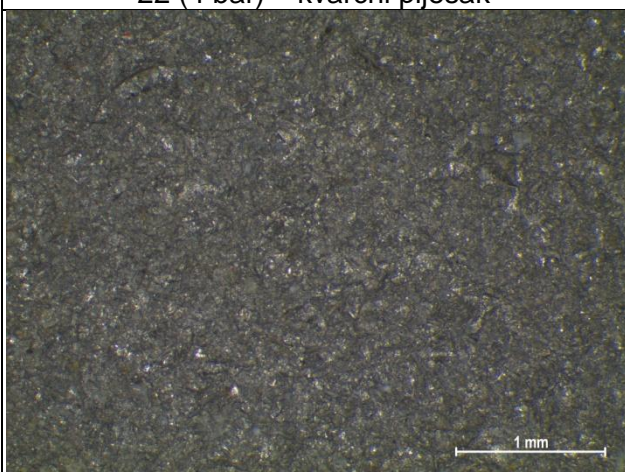
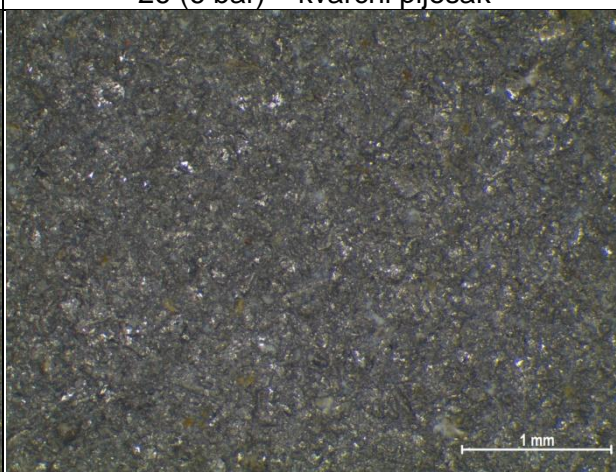
UZORAK	ABRAZIV	TLAK (bar)	VRIJEME (s)	PROSJEČNO VRIJEME (s)
1	Aluminijev oksid ili korund F100, granulacije: 100 – 150 $\mu\text{m}$	4	72	82
2			80	
3			64	
4			95	
5			100	
6		6	110	74
7			50	
8			84	
9			90	
10			40	
11	Lomljena čelična sačma ili grit GH50, granulacije: 200 – 600 $\mu\text{m}$	6	35	35
12			37	
13			33	
14			35	
15		4	40	40
16			42	
17			40	
18			39	
19	Kvarcni pijesak, granulacije: 200 – 1200 $\mu\text{m}$	4	54	57
20			59	
21			59	
22			56	
23		6	54	52
24			51	
25			55	
26			50	

Iz tablice 10 može se zaključiti da je obrada površine lomljenom čeličnom sačmom najbrža metoda pripreme površine. Brzina obrade ovisi o granulaciji, obliku i brzini izbacivanja abraziva na površinu koja se obrađuje. Iz tablice se također daje zaključiti da se povećanjem tlaka smanjuje vrijeme obrade. Povećanjem tlaka dolazi do povećanja potrošnje abraziva i težeg rukovanja samom mlaznicom zbog većih sila koje se stvaraju prilikom prolaska abraziva kroz crijevo za dovod abraziva do mlaznice, te do smanjene vidljivosti površine koja se obrađuje zbog stvaranja veće količine prašine.

U tablici 11 prikazano je stanje površine uzoraka nakon obrade. Stanje površine snimljeno je optičkim mikroskopom „Leica MZ6“ koji se nalazi u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Povećanje iznosi 31.3 puta.



Tablica 11. Usporedba uzoraka pod mikroskopom „Leica MZ6“

UZORAK	
4 (4 bar) - korund	6 (6 bar) - korund
	
18 (4 bar) – lomljena čelična sačma	14 (6 bar) – lomljena čelična sačma
	
22 (4 bar) – kvarcni pijesak	26 (6 bar) – kvarcni pijesak
	

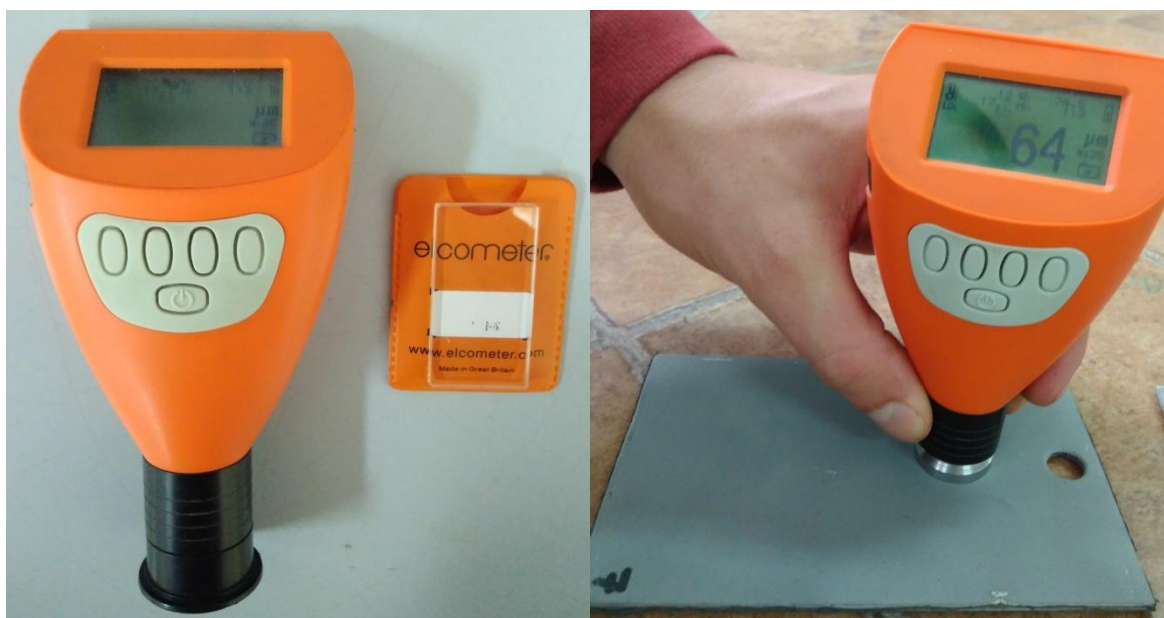
Iz tablice 11 vidljivo je da promjena tlaka izbacivanja abraziva nema utjecaja na stanje površine. Na stanje površine utječe izbor abraziva. Uzorci 4 i 6 su obrađeni korundom koji je najsitnije granulacije, te je zbog toga i sama površina uzorka fino obrađena. Uzorci 14 i 18 obrađeni su lomljenom čeličnom sačmom čija je granulacija grublja od



korunda, a i same čestice sačme su oštroidne i tvrđe od čestica korunda. Zbog toga je površina obrađena čeličnom sačmom najgrublja. Uzorci 22 i 26 obrađeni su kvarcnim pijeskom. Iako je kvarcni pijesak po specifikacijama najgrublje granulacije od navedenih abraziva, njegove čestice nisu toliko oštre i tvrde, kao što su to čestice čelične sačme, te je zbog toga površina obrađena kvarcnim pijeskom finija od površine obrađene čeličnom sačmom.

#### 14.2. Mjerenje hrapavosti površine uzoraka uređajem „Elcometer 224“

Nakon pripreme površine na svih 26 uzoraka izmjerena je hrapavost. Hrapavost je mjerena pomoću uređaja „Elcometer 224“ (slika 36). Mjerenje je izvedeno sa deset mjernih točaka po svakom uzorku, te je uzeta srednja vrijednost. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 12 i na slici 37.

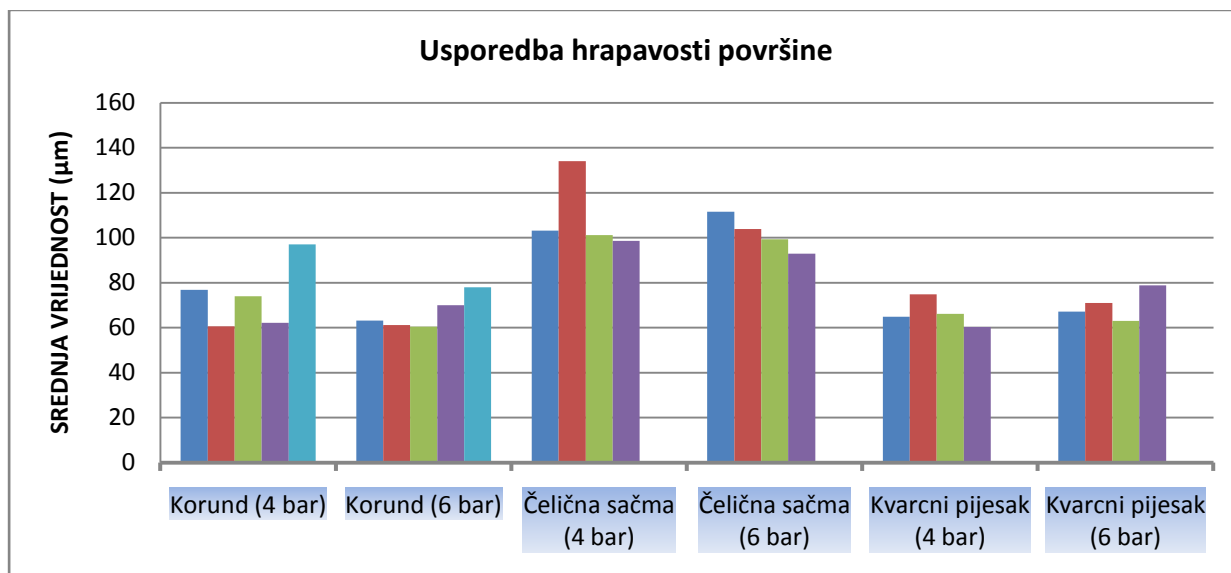


Slika 36. Uređaj „Elcometer 224“, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb



Tablica 12. Rezultati mjerenja hrapavosti uređajem „Elcometer 224“

UZORAK	ABRAZIV	TLAK (bar)	SREDNJA VRIJEDNOST ( $\mu\text{m}$ )	STANDARDNA DEVIJACIJA ( $\mu\text{m}$ )	NAJVEĆA VRIJEDNOST ( $\mu\text{m}$ )	NAJMANJA VRIJEDNOST ( $\mu\text{m}$ )
1	Aluminijev oksid (korund) F100	4	76,9	16,3	105	56
2			60,7	14,6	87	38
3			74,0	13,1	98	55
4			62,2	24,5	114	43
5			97,1	19,7	106	45
6		6	63,2	9,1	77	52
7			61,2	12,1	83	44
8			60,5	14,7	81	33
9			70,1	16,6	98	46
10			78,0	17,1	113	59
11	Lomljena čelična sačma (grit) GH50	6	111,6	29,5	156	78
12			103,9	25,0	150	70
13			99,4	25,3	126	49
14			93,0	30,1	145	61
15		4	103,2	31,6	153	51
16			134,1	57,4	247	83
17			101,2	23,5	144	74
18			98,6	18,3	131	69
19	Kvarcni pijesak	4	64,9	19,5	94	37
20			74,9	22,4	112	48
21			66,2	18,7	113	49
22			60,4	21,2	98	26
23		6	67,2	18,6	86	30
24			71,1	11,5	93	54
25			63,0	14,2	94	45
26			78,8	16,2	97	53



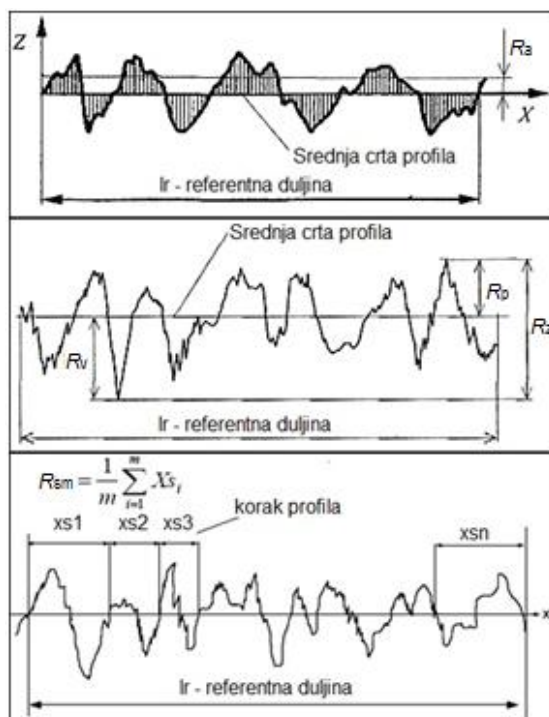
Slika 37. Grafikon usporedbe hrapavosti površine

Iz provedenih mjerenja hrapavosti na uzorcima vidi se da je najveća hrapavost postignuta pripremom površine sa lomljenom čeličnom sačmom, dok je najmanja hrapavost postignuta pripremom površine sa kvarcnim pijeskom. Također, iz tablice 12 se može zaključiti da s povećanjem tlaka izbacivanja abraziva ne dolazi do znatnih promjena u hrapavosti površine uzoraka, već se samo otežava proces same obrade zbog povećanog zaprašivanja unutar komore.

#### 14.3. Mjerenje hrapavosti površine uređajem s ticalom „Taylor Hobson Surtronic 25“

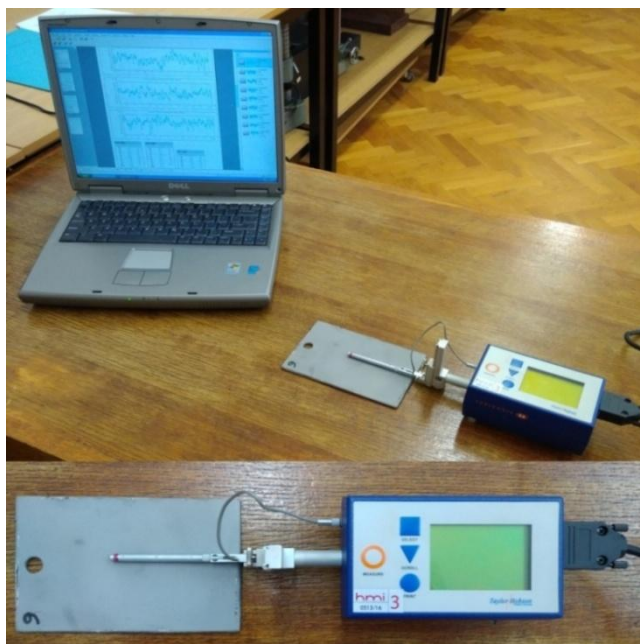
Na uzorcima 4, 6, 14, 18, 22 i 26 provedeno je mjerenje hrapavosti površine pomoću uređaja „Taylor Hobson Surtronic 25“ u Laboratoriju za precizna mjerenja. Uređaj sadrži ticalo koje se pomiče konstantnom brzinom po površini i vertikalni pomak pretvara u električni signal pomoću pretvornika. Električni je signal pojačan i obrađen pomoću računala. Skeniranjem od točke do točke, dobiva se kvantitativna informacija s obzirom na poziciju igle ticala. Uređajima s ticalom ostvaruju se vrlo precizna mjerenja, kako u laboratorijskim, tako i u industrijskim uvjetima. Kod mjerenja u obzir su uzeti sljedeći parametri (slika 38):

- $R_a$  – srednje aritmetičko odstupanje profila,
- $R_p$  – najveća visina vrha profila,
- $R_v$  – najveća dubina dola profila,
- $R_z$  – najveća visina profila,
- $R_{sm}$  – srednji korak elementa profila.



Slika 38. Parametri hrapavosti površine

Rezultati mjerenja obrađeni su u programu „Talyprofile Silver“, a mjerenje je izvršeno prema normi HRN EN ISO 4288: 2008. Na svakom uzorku napravljena su četiri mjerenja. Srednje vrijednosti rezultata prikazane su u tablici 13. Uređaj i tijek mjerenja prikazani su na slici 39.



Slika 39. Uređaj „Taylor Hobson Surtronic 25“, Laboratorij za precizna mjerenja dužina, FSB, Zagreb

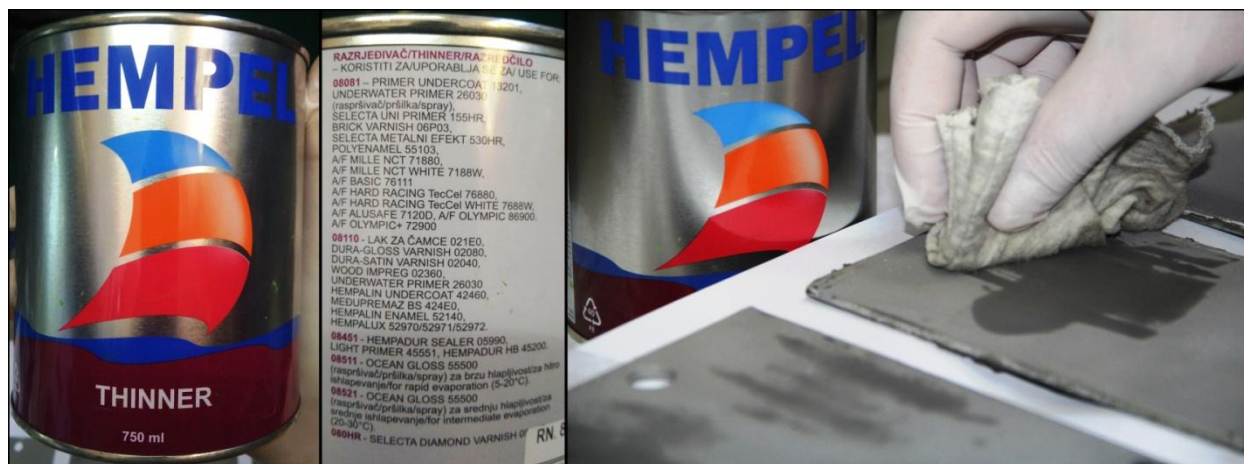
Tablica 13. Grafički prikaz rezultata mjerenja hrapavosti površine uzoraka

UZORAK	GRAFIČKI PRIKAZ
<b>4 – KORUND (4 bar)</b>  $R_p$ 16,6 $\mu\text{m}$ $R_v$ 16,6 $\mu\text{m}$ $R_z$ 33,2 $\mu\text{m}$ $R_a$ 6,66 $\mu\text{m}$ $R_{sm}$ 0,210 mm	
<b>6 – KORUND (6 bar)</b>  $R_p$ 18,7 $\mu\text{m}$ $R_v$ 20,9 $\mu\text{m}$ $R_z$ 39,5 $\mu\text{m}$ $R_a$ 8,12 $\mu\text{m}$ $R_{sm}$ 0,192 mm	
<b>14 – ČELIČNA SAČMA (6 bar)</b>  $R_p$ 23,6 $\mu\text{m}$ $R_v$ 28,0 $\mu\text{m}$ $R_z$ 51,7 $\mu\text{m}$ $R_a$ 9,96 $\mu\text{m}$ $R_{sm}$ 0,226 mm	
<b>18 – ČELIČNA SAČMA (4 bar)</b>  $R_p$ 21,9 $\mu\text{m}$ $R_v$ 24,7 $\mu\text{m}$ $R_z$ 46,6 $\mu\text{m}$ $R_a$ 8,65 $\mu\text{m}$ $R_{sm}$ 0,184 mm	
<b>22 – KVARCNI PIJESAK (4 bar)</b>  $R_p$ 21,3 $\mu\text{m}$ $R_v$ 22,3 $\mu\text{m}$ $R_z$ 43,7 $\mu\text{m}$ $R_a$ 8,32 $\mu\text{m}$ $R_{sm}$ 0,173 mm	
<b>26 – KVARCNI PIJESAK (6 bar)</b>  $R_p$ 15,3 $\mu\text{m}$ $R_v$ 16,0 $\mu\text{m}$ $R_z$ 31,3 $\mu\text{m}$ $R_a$ 5,21 $\mu\text{m}$ $R_{sm}$ 0,139 mm	

Iz tablice 13 vidljivo je da uzorci pripremljeni korundom i kvarcnim pijeskom imaju podjednake profile hrapavosti površine, dok uzorci pripremljeni lomljenom čeličnom sačmom daju znatno veće vrijednosti  $R_a$ ,  $R_p$ ,  $R_v$  i  $R_z$  što ukazuje na grublju površinu uzoraka. Također, iz tablice je vidljivo da najmanju vrijednost parametra  $R_{sm}$  daju uzorci obrađeni kvarcnim pijeskom, dok kod uzoraka obrađenih korundom i čeličnom sačmom nema značajnih razlika. Na svim uzorcima s promjenom tlaka izbacivanja abraziva nema značajnih promjena u profilu hrapavosti površine. Kod obrade kvarcnim pijeskom moguće je uočiti da s povećanjem tlaka obrade dolazi do smanjenja hrapavosti površine te je profil hrapavosti ujednačeniji, što je vidljivo po manjim vrijednostima parametara  $R_z$  i  $R_{sm}$ . Iz toga se zaključuje da povećanjem tlaka obrade dolazi do lomljenja čestica kvarcnog pijeska prilikom udara u površinu uzoraka.

#### 14.4. Nanošenje premaza

Nakon pripreme površine mlazom abraziva uzorci su očišćeni od čestica prašine pomoću komprimiranog zraka. Sljedeći korak je odmašćivanje sa razrjeđivačem (Hempel's thinner 08081). Postupak odmašćivanja prikazan je na slici 40.



Slika 40. Odmašćivanje uzoraka

Nakon kompletne pripreme površine na uzorke je ručno, pomoću kista, nanesen jedan sloj premaza. Kao premaz korišten je premaz tvrtke Hempel, naziva HEMPATHANE TOPCOAT 55210. To je dvokomponenta sjajna poliuretanska lak boja na bazi akrilne smole, a skrućuje se pomoću alifatskog izocijanita. Svojtveno joj je dobro zadržavanje sjaja i nijanse. Komponente boje su baza (55219) i kontakt (95370) koje se prije upotrebe miješaju volumno u omjeru 7:1. Nakon miješanja, boja je nanesena na uzorke, a naneseni premaz ostavljen je da se suši 7 dana. Postupak miješanja i nanošenja boje na uzorke prikazan je na slici 41.





Slika 41. Postupak nanošenja premaza

### 14.5. Mjerenje debljine suhog filma premaza

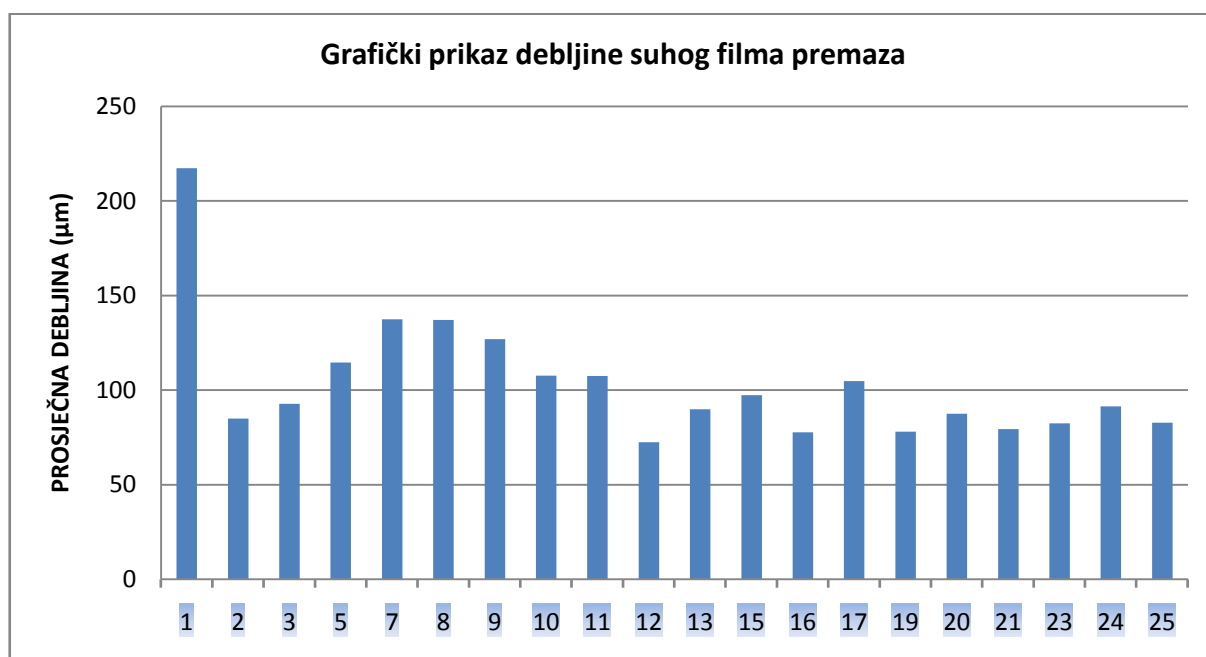
Mjerenje debljine premaza je izvršeno na svim uzorcima prije korozijskih ispitivanja sukladno normi HRN EN ISO 2808: 2008. Za svaki od uzoraka provedeno je deset mjerenja pomoću uređaja „ELCOMETER 456“, koji je prethodno bio umjeren korištenjem priloženog etalona. Sam uređaj ima mogućnost pohranjivanja podataka u tzv. batch-eve, dok se samo mjerenje debljine prevlake izvodi metodom magnetske indukcije. Nakon izvršenih mjerenja uređaj se spaja na računalo i dobivaju se statistički podaci o debljini prevlaka. Uređaj i postupak mjerenja prikazani su na slici 42. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 14, te na slici 43.



Slika 42. Uređaj „Elcometer 456“ i postupak mjerenja, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb

Tablica 14. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza

UZORAK	PROSJEČNA DEBLJINA ( $\mu\text{m}$ )	STANDARDNA DEVIJACIJA( $\mu\text{m}$ )	MAKSIMALNA DEBLJINA( $\mu\text{m}$ )	MINIMALNA DEBLJINA ( $\mu\text{m}$ )
1	217,3	15,4	243	192
2	84,95	15,7	100	60,2
3	92,81	14,3	121	66,2
5	114,6	16,3	139	83,7
7	137,4	11,4	157	114
8	137,1	18,7	161	112
9	127	19,8	147	79,6
10	107,6	15	128	84,2
11	107,4	27,7	145	57,3
12	72,45	10,7	91,2	56,7
13	89,89	15,7	113	63,1
15	97,35	30,3	168	74,9
16	77,66	19,7	109	46,4
17	104,7	19,7	149	86,5
19	78,05	20,3	108	36,6
20	87,58	15,6	105	60,6
21	79,34	15,5	97,2	51,5
23	82,51	19,3	115	56,7
24	91,43	17,2	114	65
25	82,74	13,4	96,9	50,6



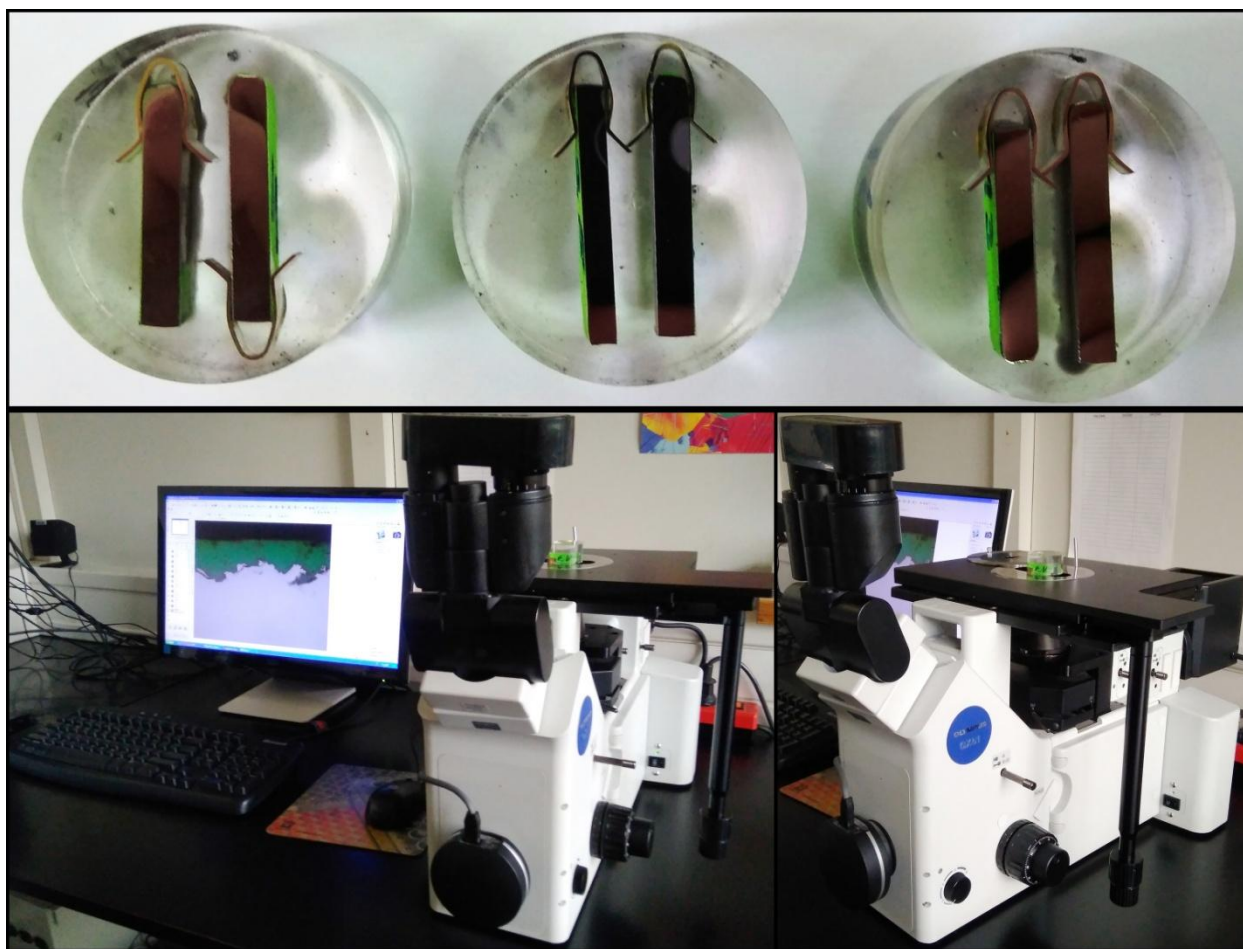
Slika 43. Grafički prikaz debljine suhog filma premaza



Prema tablici 14 te grafičkom prikazu (slika 43) prosječne debljine suhog filma premaza vidljivo je znatnije odstupanje debljine suhog filma premaza na uzorku 1, te manja odstupanja na uzorcima 5, 7, 8, 9, 10, 11, 15 i 17. Odstupanja su nastala zbog načina nanošenja premaza (kist), te utjecaja ljudskog faktora.

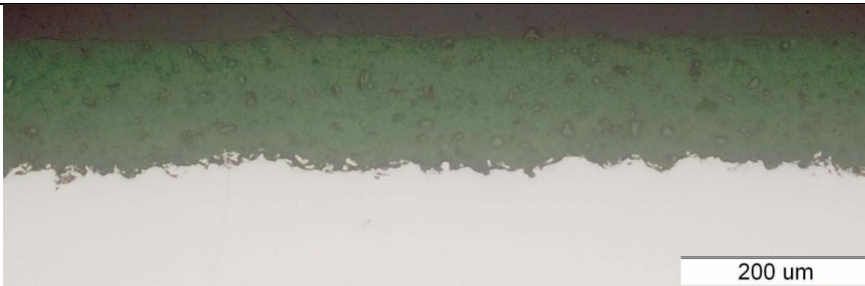



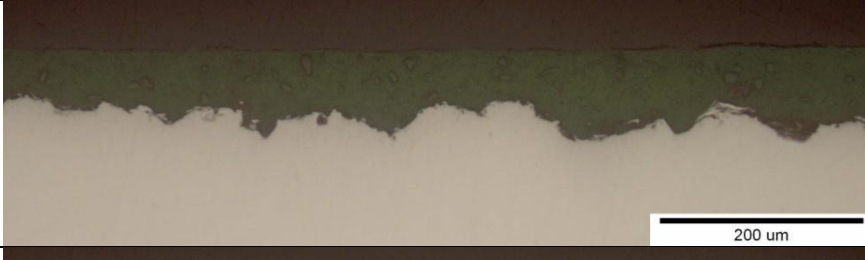

#### 14.6. Analiza uzoraka na svjetlosnom mikroskopu Olympus GX51

Nakon što se premaz osušio, iz uzoraka 4, 6, 13, 17, 21 i 25 izrezane su pločice dimenzija 25 x 10 mm. Pločice su stavljene u polimerni kalup kako bi se njima moglo lakše rukovati prilikom ispitivanja. U svaki kalup stavljena su po dva uzorka obrađena istim abrazivom, ali različitim tlakom (zajedno su stavljeni uzorci: 4 i 6, 13 i 17, 21 i 25). Nakon toga uzorci su brušeni i polirani, te analizirani u poliranom stanju. Analiza uzoraka provedena je u Laboratoriju za materijalografiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Uzorci i postupak analize na mikroskopu prikazani su na slici 44. Rezultati mikroskopskog ispitivanja prikazani su u tablicama 15 i 16.

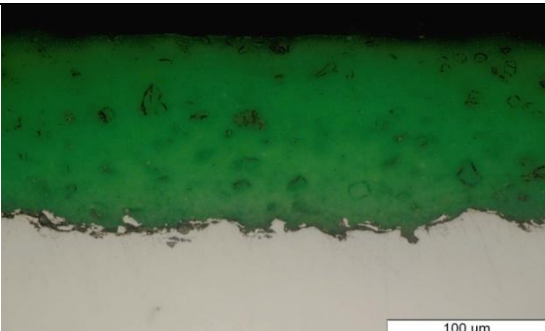
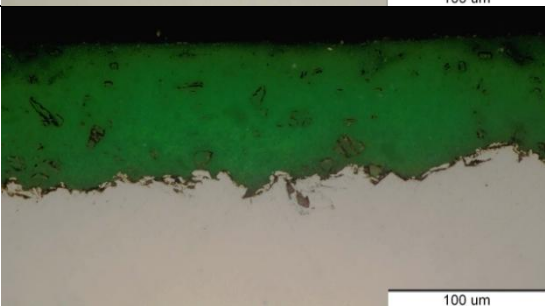
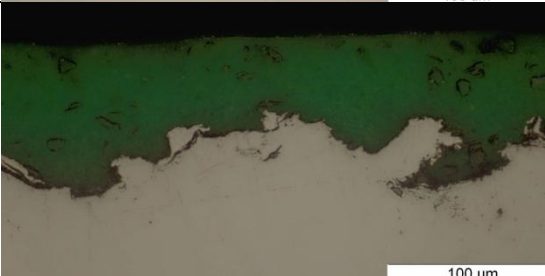





Slika 44. Postupak analize uzoraka na mikroskopu „Olympus GX51“, Laboratorij za materijalografiju, FSB, Zagreb

Tablica 15. Uzorci uvećani 200 puta

UZORAK	ABRAZIV	TLAK	POVEĆANJE 200x
4	Korund	4 bar	
6		6 bar	
13	Čelična sačma	6 bar	
17		4 bar	
21	Kvarcni pijesak	4 bar	
25		6 bar	

Tablica 16. Uzorci uvećani 500 puta

UZORAK	ABRAZIV	TLAK	POVEĆANJE 500x	
4	Korund	4 bar		
6		6 bar		
13	Čelična sačma	6 bar		
17		4 bar		
21	Kvarcni pijesak	4 bar		
25		6 bar		

Iz tablica 15 i 16 vidljivo je da najgrublji profil površine imaju uzorci obrađeni lomljenom čeličnom sačmom, dok najfiniji profil površine imaju uzorci obrađeni korundom. Prilikom promjene tlaka izbacivanja abraziva, na uzorcima obrađenim lomljenom čeličnom sačmom i korundom, nema značajnih razlika. Razlika profila površine kod promjene tlaka izbacivanja abraziva vidljiva je na uzorcima obrađenim kvarcnim pijeskom. Uzorak 25 (6 bar) ima više 'nazubljen' profil površine što se može povezati sa najmanjom vrijednošću parametra  $R_{sm}$ . Što je parametar  $R_{sm}$  manji, to je udaljenost vrhova profila hrapavosti manja. Prilikom udara o površinu uzorka čestica kvarcnog pijeska se lomi. Lomljena čestica ima oštrije rubove te dublje penetrira u površinu uzorka.

#### 14.7. Ispitivanje u vlažnoj komori

Ispitivanje u vlažnoj komori provedeno je prema normi HRN EN ISO 6270- 2. Za ispitivanje u vlažno- toploj atmosferi korištena je vlažna komora proizvođača CW model AB6 (slika 45). Vlažna komora ima spremnik za prihvatanje vode koja se zagrijava te na taj način temperira prostor za ispitivanje. Temperatura pri kojoj se ispituje iznosi  $40 \pm 3$  °C, a relativna vlažnost zraka iznosi oko 100 % s orošavanjem uzoraka. Ispitivanje je izvršeno u trajanju od 7 dana (168 h).

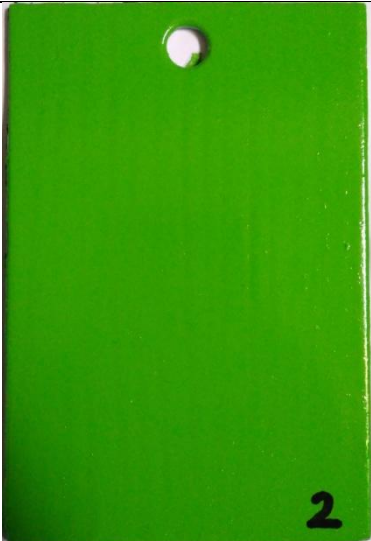







Slika 45. Vlažna komora „ CW AB6“, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb






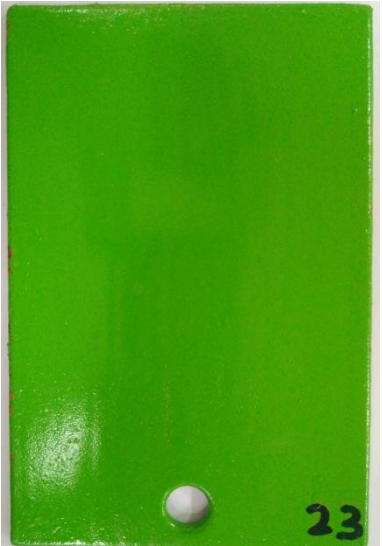
Nakon ispitivanja u vlažnoj komori u trajanju od 7 dana (168 h) na uzorcima 2, 8, 11, 15, 19 i 23 nisu uočene nikakve promjene. Korozijski produkti čelika nisu uočeni niti na jednom uzorku te se prema normi HRN EN ISO 4628- 1 daje ocjena stupnja korozije  $R_i = 0$ , što znači da je 0 % površine uzoraka zahvaćeno korozijom. Rezultati ispitivanja u vlažnoj komori dani su u tablicama 17 i 18.



Tablica 17. Uzorci 2, 8 i 11 prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori

UZORAK	PRIJE ISPITIVANJA	NAKON 168h ISPITIVANJA	REZULTAT
2 – Korund (4 bar)			Nema nikakvih vidljivih promjena u obliku mjehanja premaza ili pojave korozije
8 – Korund (6 bar)			Nema nikakvih vidljivih promjena u obliku mjehanja premaza ili pojave korozije
11 – Čelična sačma (6 bar)			Nema nikakvih vidljivih promjena u obliku mjehanja premaza ili pojave korozije

Tablica 18. Uzorci 15, 19 i 23 prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori

UZORAK	PRIJE ISPITIVANJA	NAKON 168h ISPITIVANJA	REZULTAT
15 – Čelična sačma (4 bar)			Nema nikakvih vidljivih promjena u obliku mjehuranja premaza ili pojave korozije
19 – Kvarcni pijesak (4 bar)			Nema nikakvih vidljivih promjena u obliku mjehuranja premaza ili pojave korozije
23 – Kvarcni pijesak (6 bar)			Nema nikakvih vidljivih promjena u obliku mjehuranja premaza ili pojave korozije

## 14.8. Ispitivanje u slanoj komori

Ispitivanjima u slanoj komori simulira se izlaganje morskoj atmosferi pri čemu se razrijeđena otopina NaCl raspršuje u vidu magle na ispitivane uzorke. Ispitivanje u slanoj komori provedeno je prema normi HRN EN ISO 9227: 2012. Za ispitivanje se koristila 5 %- tna otopina NaCl, a temperatura u komori je iznosila 35 °C. Ispitivanje je trajalo 7 dana (168 h), a provedeno je u slanoj komori Ascott, model S450. Ispitivanje je provedeno na uzorcima 3, 9, 12, 16, 20 i 24, te je na njima, prije nego su stavljeni u komoru, napravljen horizontalni urez. Komora i uzorci postavljeni u komoru prikazani su na slici 46.



Slika 46. Slana komora „Ascott S450“, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb

Nakon 7 dana (168 h) ispitivanja u slanoj komori, na svim uzorcima uočena su oštećenja premaza u obliku mjehuranja. Pojava korozije je vidljiva oko ureza te se ona uzima u obzir, dok se korozijski produkti koji su vidljivi na rubovima uzoraka ne uzimaju u razmatranje. Oštećenja u obliku pucanja i ljuštenja premaza nisu uočena.

Nakon vizualnog pregleda izvršeno je ispitivanje širenja korozije ispod premaza sukladno normi ISO 7253. Ispitivanje se provodi tako da se oko ureza uklanja premaz, te se mjeri širina korodirane površine na osnovnom materijalu. Računanje širine korozije ispod premaza i uvjet prihvatljivosti dani su jednadžbom (1). Rezultati ispitivanja prikazani su u tablicama 19, 20 i 21.

$$M = \frac{C-W}{2} < 1 \quad (1)$$


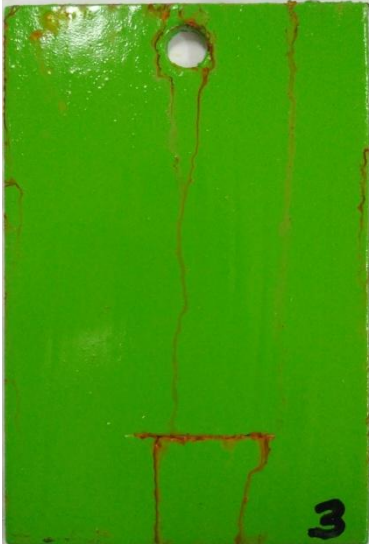

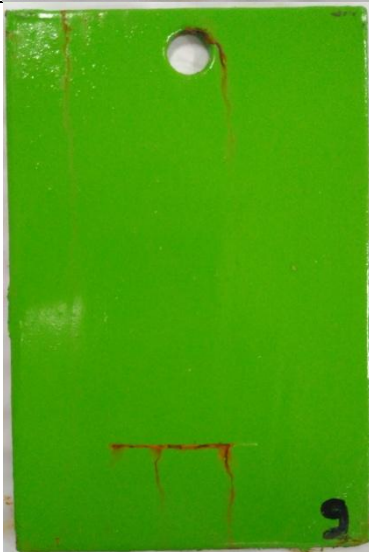


M – Širenje korozije ispod premaza (mm)

C – Širina reza nakon ispitivanja u slanoj komori (mm)

W – Širina reza prije ispitivanja u slanoj komori (mm)


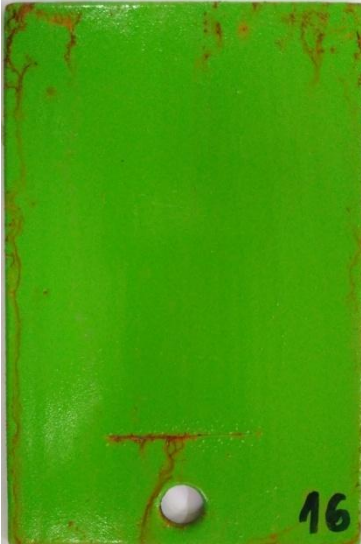

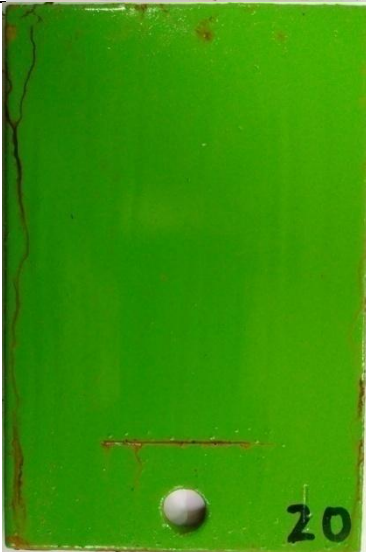

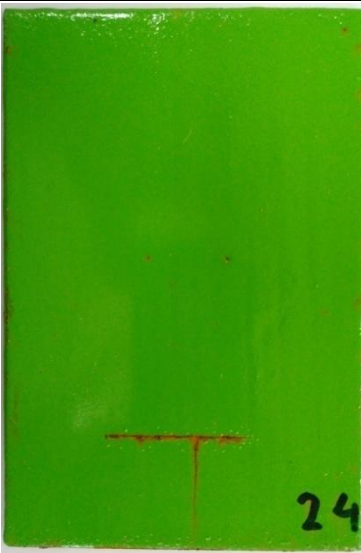


Tablica 19. Uzorci 3, 9 i 12 prije i nakon ispitivanja u slanoj komori

UZORAK	PRIJE ISPITIVANJA	NAKON 168h ISPITIVANJA	REZULTAT
3 - Korund (4 bar)			Vidljiva pojava korozije po urezu, te mjehuranje premaza oko ureza.
9 – Korund (6 bar)			Vidljiva pojava korozije po urezu, te mjehuranje premaza oko ureza.
12 – Čelična sačma (6 bar)			Vidljiva pojava korozije po urezu, te mjehuranje premaza oko ureza.



Tablica 20. Uzorci 16, 20 i 24 prije i nakon ispitivanja u slanoj komori

UZORAK	PRIJE ISPITIVANJA	NAKON 168h ISPITIVANJA	REZULTAT
16 – Čelična sačma (4 bar)			Vidljiva pojava korozije po urezu, te mjehuranje premaza oko ureza.
20 – Kvarcni pijesak (4 bar)			Vidljiva pojava korozije po urezu, te mjehuranje premaza oko ureza.
24 – Kvarcni pijesak (6 bar)			Vidljiva pojava korozije po urezu, te mjehuranje premaza oko ureza.

Tablica 21. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza

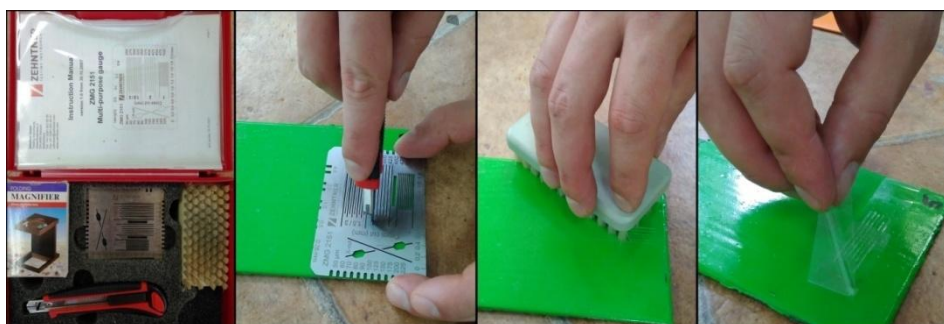
UZORAK	C (mm)	W (mm)	M (mm)
3 – korund (4 bar)	0,1995	0,1	0,0498
9 – korund (6 bar)	0,1650		0,0325
12 – lomljena čelična sačma (6 bar)	0,1723		0,0362
16 – lomljena čelična sačma (4 bar)	0,2083		0,0542
20 – kvarcni pijesak (4 bar)	0,1905		0,0453
24 – kvarcni pijesak (6 bar)	0,1277		0,0138

Iz tablice 21 vidljivo je da je M (faktor širenja korozije ispod premaza) manji od 1, te su rezultati širenja korozije, prema normi ISO 7253 prihvatljivi. Najmanje širenje korozije oko ureza ispod premaza utvrđeno je na uzorku 24 koji je pripremljen kvarcnim pijeskom pri tlaku od 6 bar, te se zaključuje da takvim načinom pripreme površine postoji najmanja mogućnost širenja korozije ispod premaza.

#### 14.9. Ispitivanje prionjivosti premaza metodom mrežice

Jedna od osnovnih karakteristika svakog premaza je prionjivost na podlogu ili prethodni premaz u sustavu. Prionjivost premaza izravno utječe na kvalitetu njegova zaštitnog djelovanja na površinu na koju je nanesen kao i duljinu vijeka trajanja zaštite.

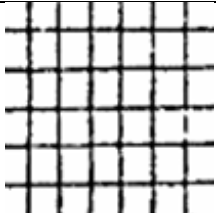
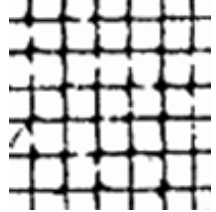
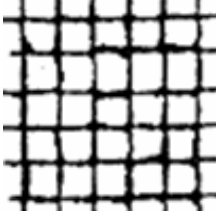
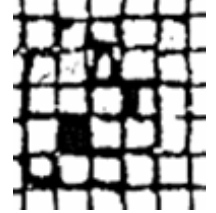
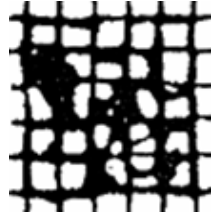
Prianjanje sloja premaza na podlogu određuje se metodom mrežice (eng. *Cross-cut test*) prema normi HRN EN ISO 2409: 2013. Ispitivanje se sastoji u tome da se u sloj premaza pomoću skalpela ureže pet horizontalnih i pet vertikalnih zarez, tj. formira kvadratna mreža od 25 kvadratića. Urezivanje se obavlja jednolikom brzinom i urez mora doći do podloge, ali ne smije zagrepsti duboko u nju. Urezi moraju biti jednoliki, a udaljenost između njih ovisi o debljini premaza. Nakon urezivanja, odgovarajućom se četkom laganim pritiskom prijeđe preko mrežice u oba smjera. Zatim se na mrežicu zalijepi ljepljiva vrpca, koja se potom naglo odlijepi. Oprema za ispitivanje i metoda ispitivanja prikazana je na slici 47.



Slika 47. Oprema i postupak ispitivanja prionjivosti metodom mrežice, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb

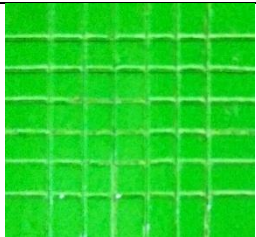
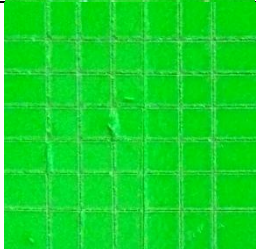
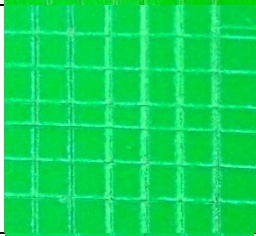
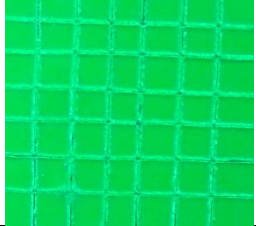
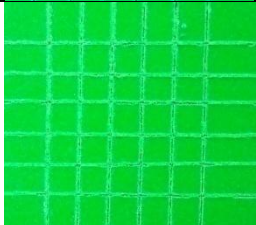
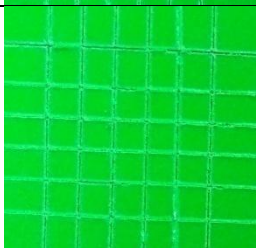
Usporedbom urezane mrežice sa standardnom skalom (u normi HRN EN ISO 2409: 2013) ocjenjuje se prionjivost ispitivanog premaza (Tablica 22).

Tablica 22. Ocjena prionjivosti metodom mrežice

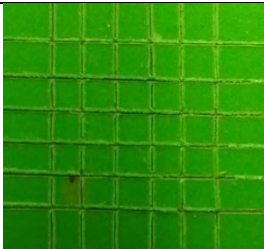





OPIS	SLIKA	OCJENA PREMA HRN EN ISO 2409:2013
Tragovi rezova su potpuno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut		0
Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5% površine je oštećeno		1
Dio premaza je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici, 5-15% površine je oštećeno		2
Premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice, 15-35% površine je oštećeno		3
Premaz je oljušten duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno ljušteni, 35-65% površine je oštećeno		4
Više od 65% površine je oljušteno		5

Ocjene prionjivosti uzoraka prije vlažne i slane komore, te nakon prikazane su u tablicama: 23, 24 i 25.

Tablica 23. Ocjena prionjivosti premaza nakon sušenja

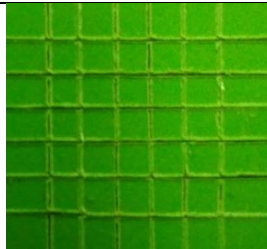


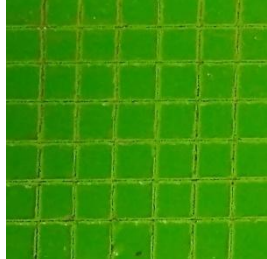


UZORAK	RAZMAK IZMEĐU REZOVA (mm)	SLIKA	OCJENA PRIONJIVOSTI PREMA HRN EN ISO 2409: 2013
5 – Korund (4 bar)	2		0
10 – Korund (6 bar)	2		0
13 – Čelična sačma (6 bar)	2		0
17 – Čelična sačma (4 bar)	2		0
21 – Kvarcni pijesak (4 bar)	2		0
25 – Kvarcni pijesak (6 bar)	2		0

Tablica 24. Ocjena prionjivosti premaza nakon ispitivanja u vlažnoj komori

UZORAK	RAZMAK IZMEĐU REZOVA (mm)	SLIKA	OCJENA PRIONJIVOSTI PREMA HRN EN ISO 2409:2013
2 – Korund (4 bar)	2		0
8 – Korund (6 bar)	3		0
11 – Čelična sačma (6 bar)	2		0
15 – Čelična sačma (4 bar)	2		0
19 – Kvarcni pijesak (4 bar)	2		0
23 – Kvarcni pijesak (6 bar)	2		0



Tablica 25. Ocjena prionjivosti premaza nakon ispitivanja u slanoj komori

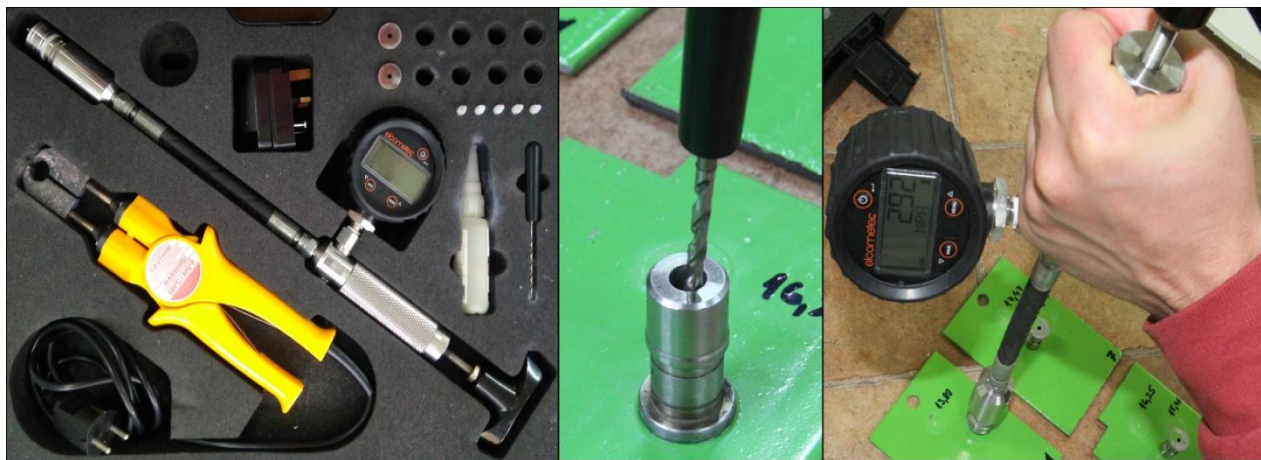
UZORAK	RAZMAK IZMEĐU REZOVA (mm)	SLIKA	OCJENA PRIONJIVOSTI PREMA HRN EN ISO 2409:2013
3 – Korund (4 bar)	2		0
9 – Korund (6 bar)	3		0
12 – Čelična sačma (6 bar)	2		0
16 – Čelična sačma (4 bar)	2		0
20 – Kvarcni pijesak (4 bar)	2		0
24 – Kvarcni pijesak (6 bar)	2		0

Iz tablica 23, 24 i 25 vidljivo je da su svi uzroci dobili ocjenu prionjivosti 0 što znači da je prionjivost premaza prema normi HRN EN ISO 2409: 2013 zadovoljavajuća.

#### 14.10. Ispitivanje prionjivosti premaza vlačnom metodom

Ispitivanje prionjivosti premaza vlačnom metodom (eng. *Pull - off test*) je mjerenje sile koja je potrebna za odvajanje metalnog valjića koji se specijalnim ljepljivom zalijepi za površinu na kojoj se nalazi premaz kojem je potrebno odrediti prionjivost. Mjerenje se provodi u skladu s normom HRN EN ISO 4624: 2016. Ispitivanje je provedeno pomoću uređaja „Elcometer 108“. To je hidraulički uređaj za ispitivanje čvrstoće prijanjanja koji se upotrebljava za testiranje prijanjanja između sloja premaza i podloge.

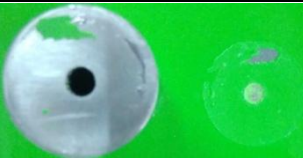
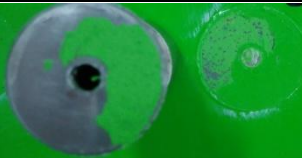
















Nakon pripreme odgovarajuće površine, nanosi se tanak i ravnomjeran sloj ljepljiva na kontrolni žig koji se zalijepi na uzorak te se ostavi oko 30 minuta kako bi se ljepljivo osušilo. Nakon sušenja, odgovarajućim alatom se uklanja višak ljepljiva koji je ostao u provrtu žiga. Nakon toga se provodi potisni zatik uređaja kroz centralni provrt na žigu te se okretanjem ručice povećava pritisak zatika. Zatik se pritisne uz površinu i tako podigne kontrolni žig. Nakon toga ispitivanje je gotovo te se pomoću vrućih kliješta i skalpela skida premaz sa kontrolnog žiga (ukoliko ga ima). Oprema za ispitivanje i postupak ispitivanja prikazani su na slici 48.



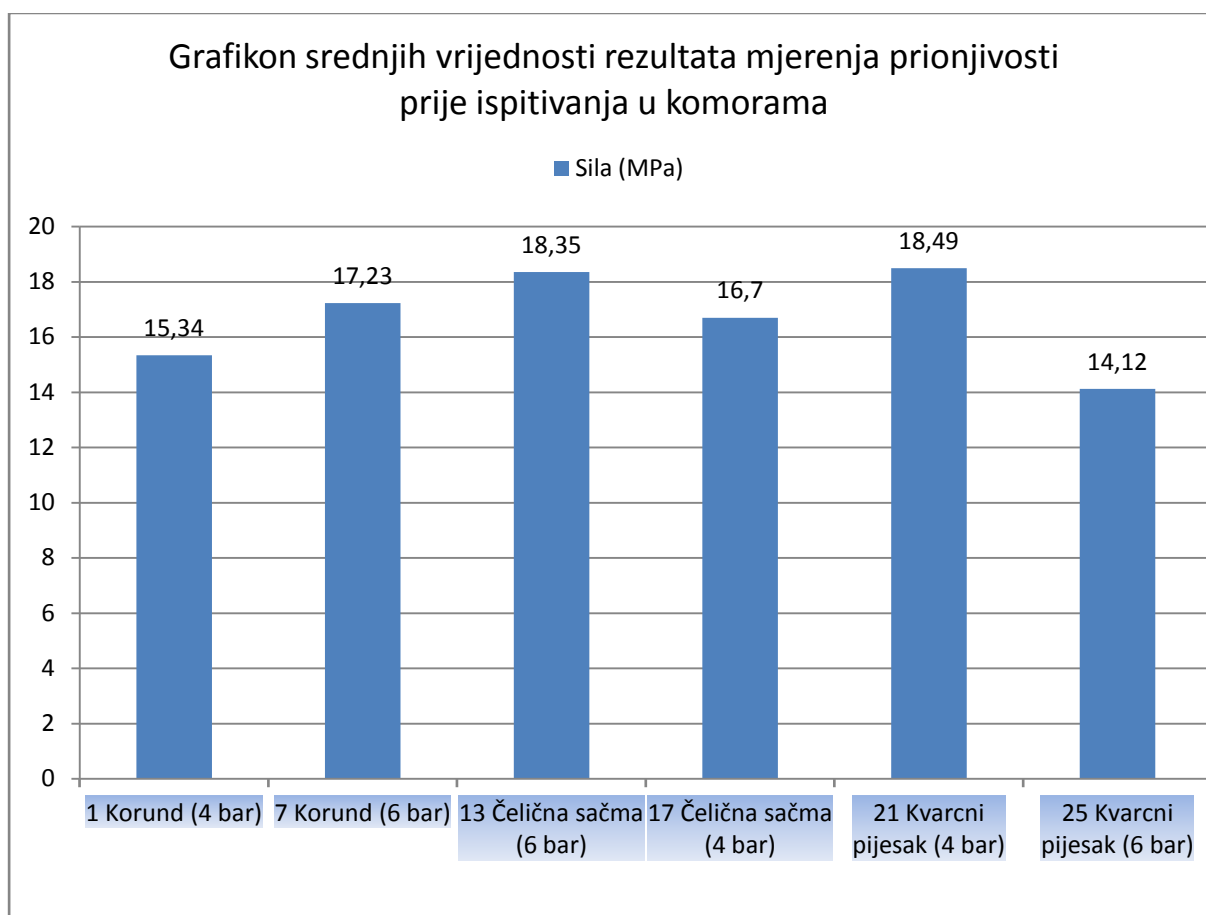
Slika 48. Oprema i postupak ispitivanja vlačnom metodom, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, Zagreb

Rezultati ispitivanja prikazani su u tablicama 26, 27 i 28, te na slikama 49, 50 i 51.

Tablica 26. Ispitivanje uzoraka vlačnom metodom prije ispitivanja u komorama

UZORAK	MJERENJE 1	MJERENJE 2	MJERENJE 3	SREDNJA VRIJEDNOST SILE (MPa)
1 Korund (4 bar)				15,34
	13,80 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	15,20 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	17,02 MPa – odvajanje u premazu	
7 Korund (6 bar)				17,23
	17,47 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	16,57 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	17,65 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	
13 Čelična sačma (6 bar)				18,35
	18,02 MPa – odvajanje u premazu	17,96 MPa – odvajanje u premazu	19,08 MPa – odvajanje u premazu	
17 Čelična sačma (4 bar)				16,70
	16,25 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	15,46 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	18,38 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	
21 Kvarcni pijesak (4 bar)				18,49
	16,80 – MPa odvajanje u premazu i od podloge	19,50 – MPa odvajanje u premazu	19,17 MPa - odvajanje u premazu	
25 Kvarcni pijesak (6 bar)				14,12
	15,03 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	12,90 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	14,44 MPa – odvajanje u premazu	

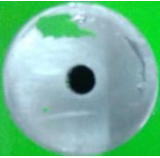
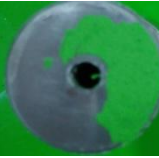







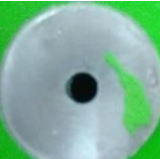


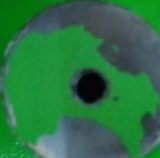



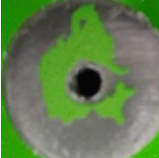



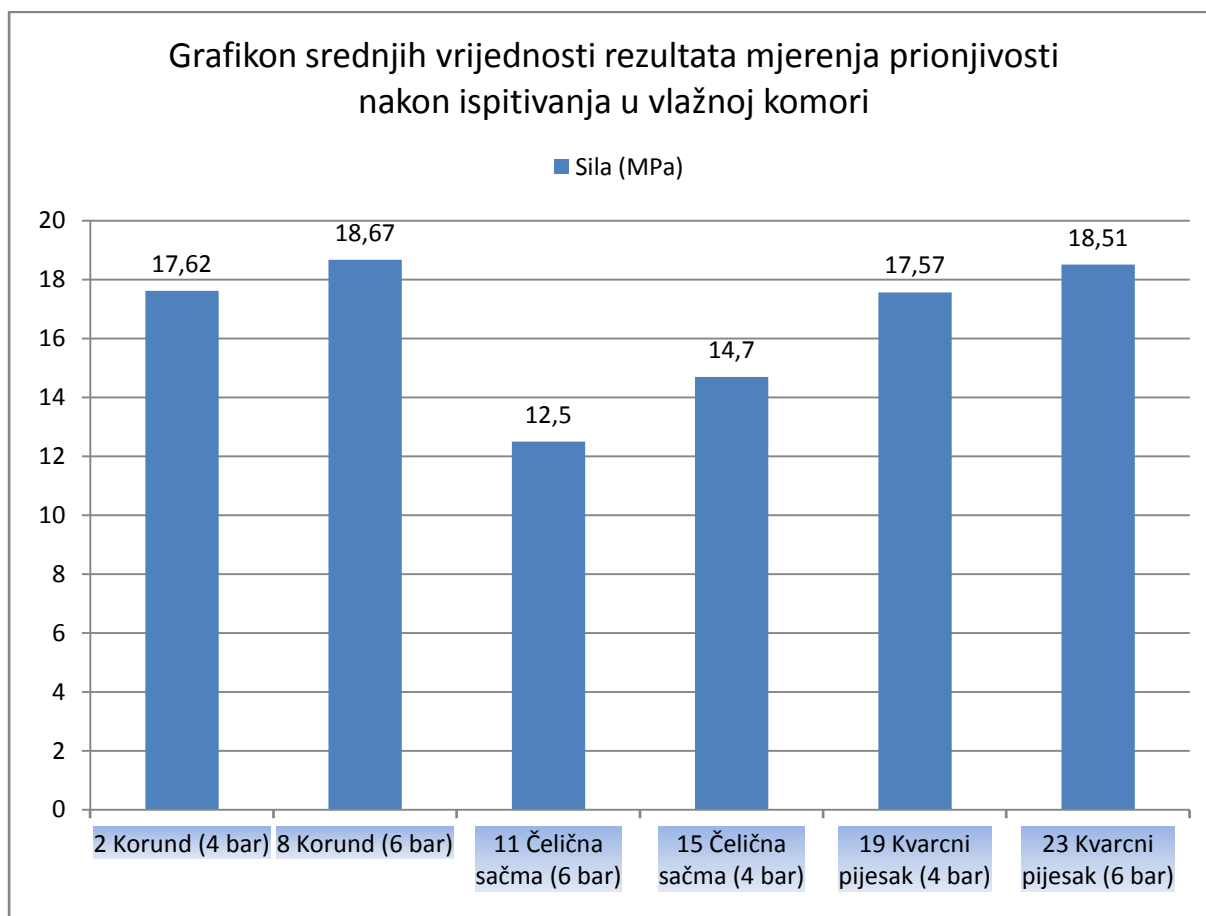


Slika 49. Grafikon srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti prije ispitivanja u komorama

Iz tablice 26 i grafikona srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti prije ispitivanja u komorama (slika 49) vidljivo je da najveću vrijednost prionjivosti imaju uzorci 21, 13 i 7. Iz grafa je također vidljivo da s povećanjem tlaka obrade površine se povećava i prionjivost premaza kod uzoraka obrađenih korundom i lomljenom čeličnom sačmom. Međutim, kod kvarcnog pijeska se s povećanjem tlaka obrade prionjivost premaza smanjuje. Smanjenje prionjivosti kod obrade kvarcnim pijeskom povezano je sa lomljenjem čestica abraziva prilikom udara o površinu uzorka. Lomljene čestice ostaju na površini uzorka te tako stvaraju barijeru između površine metala i premaza smanjujući prionjivost. Kod svih ispitanih uzorka došlo je do odvajanja u sloju premaza, te je sila odvajanja veća od 5 MPa što je prema normi HRN EN ISO 4624: 2016 najmanja prihvatljiva vrijednost.

Tablica 27. Ispitivanje uzoraka vlačnom metodom nakon vlažne komore



















UZORAK	MJERENJE 1	MJERENJE 2	MJERENJE 3	SREDNJA VRIJEDNOST SILE (MPa)
2 Korund (4 bar)				17,62
	19,67 MPa – odvajanje u premazu	16,89 MPa – odvajanje u premazu	16,30 MPa – odvajanje u premazu	
8 Korund (6 bar)				18,67
	19,40 MPa – odvajanje u premazu	20,24 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	16,35 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	
11 Čelična sačma (6 bar)				12,50
	11,50 MPa – odvajanje u premazu	10,93 MPa – odvajanje u premazu	15,08 MPa – odvajanje u premazu	
15 Čelična sačma (4 bar)				14,70
	12,34 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	14,19 MPa – odvajanje u premazu	17,56 MPa – odvajanje u premazu i ljepilu	
19 Kvarcni pijesak (4 bar)				17,57
	15,21 MPa – odvajanje u premazu	18,77 MPa – odvajanje u premazu	18,74 MPa – odvajanje u premazu	
23 Kvarcni pijesak (6 bar)				18,51
	18,82 MPa – odvajanje u premazu	19,28 MPa – odvajanje u premazu	17,43 MPa – odvajanje u premazu	

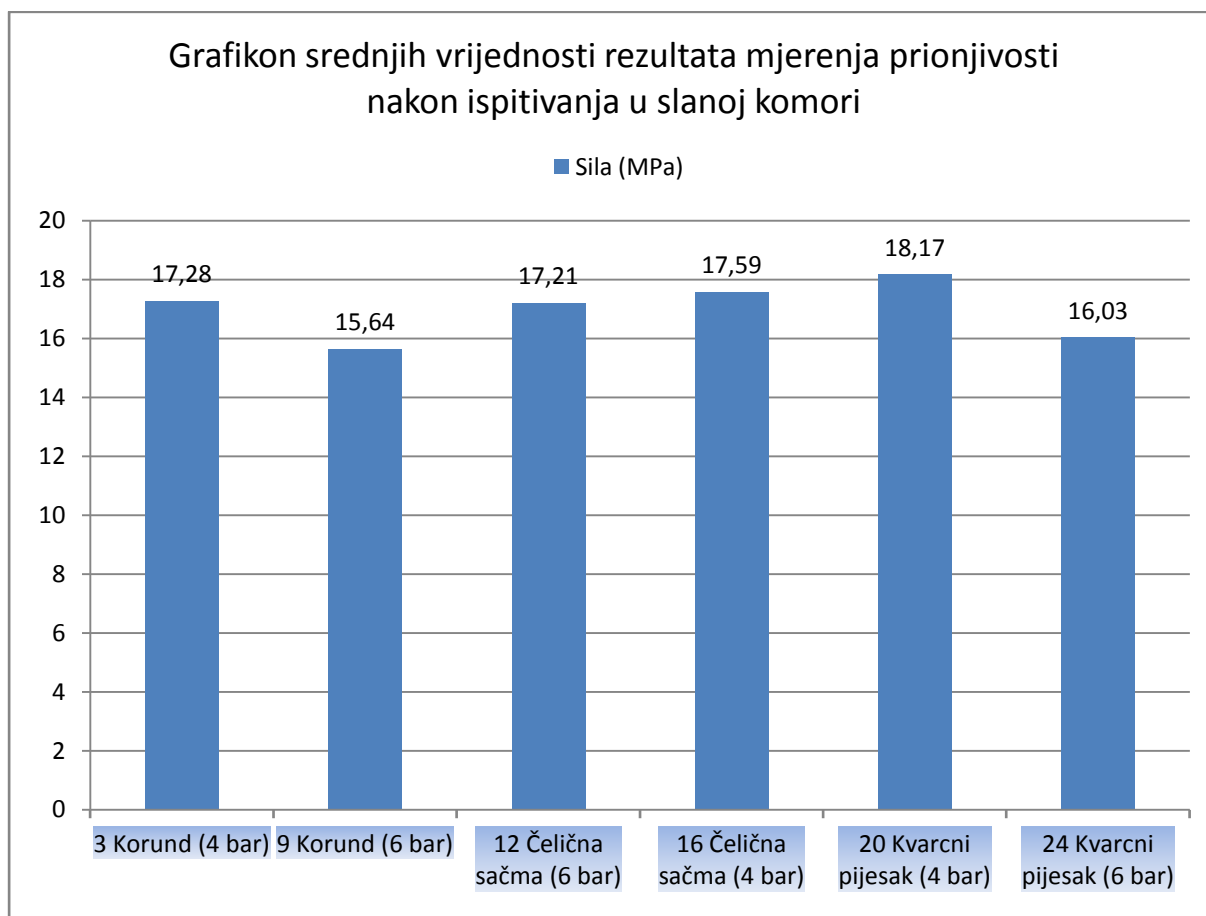


Slika 50. Grafikon srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti nakon ispitivanja u vlažnoj komori

Iz tablice 27 i grafikona srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti nakon ispitivanja u vlažnoj komori (slika 50) vidljivo je da najveću vrijednost prionjivosti imaju uzorci 23 i 8. Najmanju prionjivost imaju uzorci obrađeni lomljenom čeličnom sačmom što se može povezati sa pojavom mikrokorozijske na površini uzoraka nakon obrade, a prije nanošenja premaza. Iz grafa je također vidljivo da se s povećanjem tlaka obrade površine povećava i prionjivost premaza kod svih uzoraka. Kod svih ispitanih uzorka došlo je do odvajanja u sloju premaza, te je sila odvajanja veća od 5 MPa što je prema normi HRN EN ISO 4624: 2016 najmanja prihvatljiva vrijednost.

Tablica 28. Ispitivanje uzoraka vlačnom metodom nakon slane komore

UZORAK	MJERENJE 1	MJERENJE 2	MJERENJE 3	SREDNJA VRIJEDNOST SILE (MPa)
3 Korund (4 bar)				17,28
	14,35 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	18,20 MPa – odvajanje u premazu	19,30 MPa – odvajanje u premazu	
9 Korund (6 bar)				15,64
	13,18 MPa – odvajanje u premazu	16,18 MPa – odvajanje u ljepilu	17,56 MPa – odvajanje u premazu	
12 Čelična sačma (6 bar)				17,21
	15,21 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	18,45 MPa – odvajanje u premazu	17,96 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	
16 Čelična sačma (4 bar)				17,59
	17,75 MPa – odvajanje u premazu	16,72 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	18,30 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	
20 Kvarcni pijesak (4 bar)				18,17
	17,94 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	18,09 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	18,47 MPa – odvajanje u premazu	
24 Kvarcni pijesak (6 bar)				16,03
	16,88 MPa – odvajanje u premazu	16,01 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	15,20 MPa – odvajanje u premazu i od podloge	



Slika 51. Grafikon srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti nakon ispitivanja u slanoj komori

Iz tablice 28 i grafikona srednjih vrijednosti rezultata mjerenja prionjivosti nakon ispitivanja u slanoj komori (slika 51) vidljivo je da najveću vrijednost prionjivosti imaju uzorci 20, 16 i 3. Najmanju prionjivost ima uzorak 9 obrađen korundom kod kojeg je u jednom mjerenju došlo do odvajanja u ljepilu. Iz grafa je također vidljivo da se s povećanjem tlaka obrade površine smanjuje i prionjivost premaza kod svih uzoraka. Kod svih ispitanih uzorka došlo je do odvajanja u sloju premaza (osim kod drugog mjerenja na uzorku 9), te je sila odvajanja veća od 5 MPa što je prema normi HRN EN ISO 4624: 2016 najmanja prihvatljiva vrijednost.

#### 14.11. Izračun potrošnje premaznog sredstva

Potrošnja premaznog sredstva najviše ovisi o tome nanosi li se boja u tanjem ili debljem sloju. Nanošenje boje na hrapavu površinu zahtijeva veću potrošnju u odnosu na glatku površinu. Određena količina boje ostati će u kantici, na kistu, valjku ili opremi za raspršivanje, pa kod izračuna količine boje treba uzeti u obzir i taj gubitak.



Za izračun potrošnje boje uzet će se površina od  $10 \text{ m}^2$  radi lakšeg predočavanja same razlike u potrošnji boje kod različitih priprema površine. Za izračun se koriste podaci koji su dobiveni prethodnim ispitivanjima na uzorcima, te tehničke karakteristike boje koja je na njih nanesena.

Podaci za izračun potrošnje boje:

- Površina koja se zaštićuje =  $10 \text{ m}^2$
- Debljina suhog filma premaza DSF =  $50 \text{ } \mu\text{m}$
- Volumni sadržaj suhe tvari VS = 51 %
- Faktor gubitka kod nanošenja kistom LF= 80 %

Prosječna hrapavost površine ( $R_z$ ) postignuta pripremom uzoraka različitim abrazivima (izračunate su srednje vrijednosti hrapavosti  $R_z$  prema tablici 12) prikazana je u tablici 29.

Tablica 29. Prosječna hrapavost površine  $R_z$  pripremljene različitim abrazivima

UZORAK	PROSJEČNA HRAPAVOST POVRŠINE $R_z (\mu\text{m})$
Korund (4 bar)	74,18
Korund (6 bar)	66,60
Lomljena čelična sačma (4 bar)	109,28
Lomljena čelična sačma (6 bar)	101,98
Kvarcni pijesak (4 bar)	66,60
Kvarcni pijesak (6 bar)	69,83

Količina boje potrebne za ispuniti hrapavost površine  $1 \text{ m}^2$  (mrtvi volumen) uzima se interpolacijom prema tablici 30.

Tablica 30. Količina boje potrebne za ispuniti hrapavost površine od  $1 \text{ m}^2$  [31]

HRAPAVOST POVRŠINE $R_z (\mu\text{m})$	KOLIČINA BOJE POTREBNE ZA ISPUNITI POVRŠINSKU HRAPAVOST [Mrtvi volumen ( $\text{l/m}^2$ )]
30	0,02
45	0,03
60	0,04
75	0,05
90	0,06
105	0,07
120	0,08

Formule potrebne za proračun [31]:

$$Ukupni mrtvi volumen (l) = \frac{Površina (m^2) * Mrtvi volumen (l/m^2) * 100}{VS(\%) * LF} \quad (2)$$

$$Praktična potrošnja (l) = \frac{Površina (m^2) * DSF(\mu m) * CF}{10 * VS(\%)} \quad (3)$$

$$Faktor utroška CF = \frac{1}{LF} \quad (4)$$

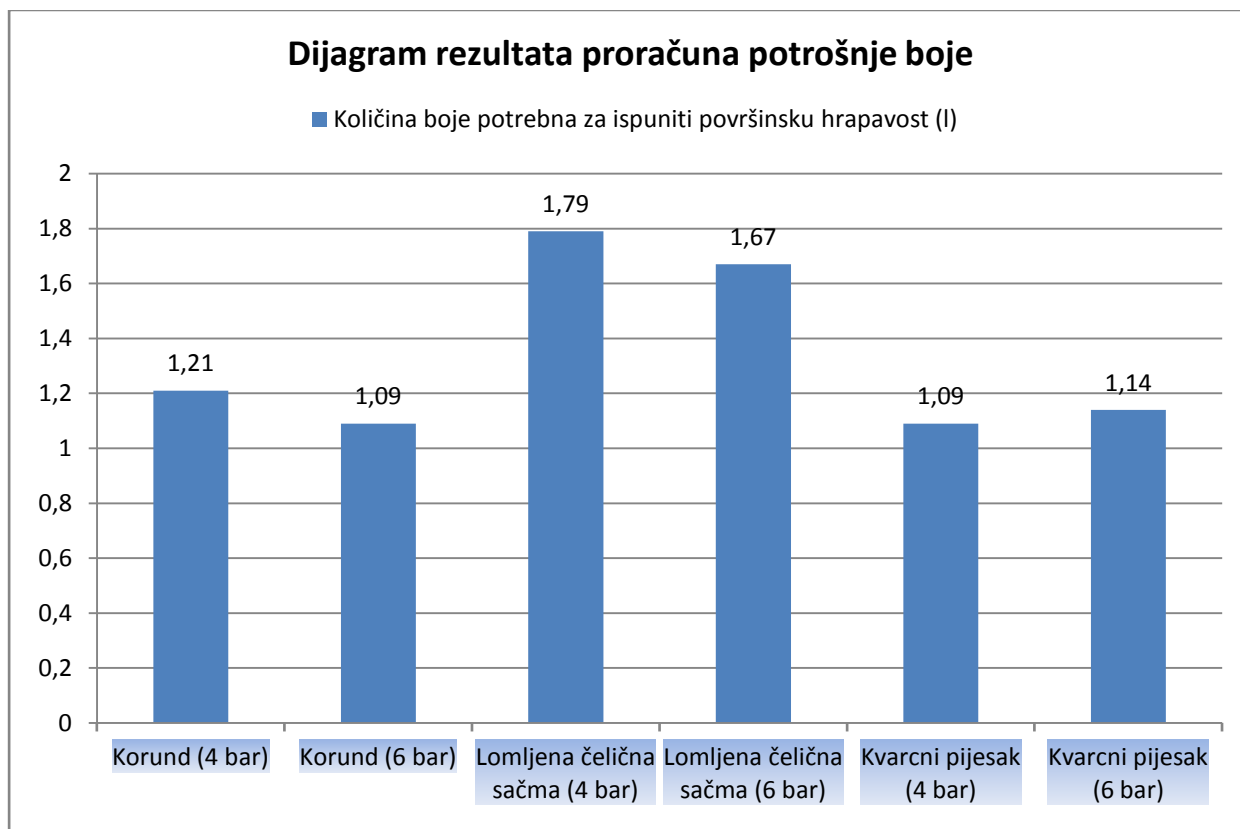
$$Ukupna količina boje (l) = Ukupni mrtvi volumen (l) + Praktična potrošnja (l) \quad (5)$$

Prema gore navedenim formulama 2, 3, 4 i 5, te prema zadanim podacima iz tablica 29 i 30 napravljen je proračun potrošnje boje te je prikazan u tablici 31 i na slici 52.

Tablica 31. Rezultati proračuna potrošnje boje za 10 m<sup>2</sup> površine

Abraziv	Mrtvi volumen (l/m <sup>2</sup> )	Ukupni mrtvi volumen (l)	Praktična potrošnja (l)	Faktor utroška CF	Ukupna količina boje (l)
Korund (4 bar)	0,0495	1,21	1,23	1,25	2,44
Korund (6 bar)	0,0444	1,09			2,32
Lomljena čelična sačma (4 bar)	0,0729	1,79			3,02
Lomljena čelična sačma (6 bar)	0,0680	1,67			2,9
Kvarcni pijesak (4 bar)	0,0444	1,09			2,32
Kvarcni pijesak (6 bar)	0,0466	1,14			2,37





Slika 52. Dijagram rezultata proračuna potrošnje boje

Iz tablice 31 i dijagrama rezultata proračuna potrošnje boje (slika 52) vidljivo je da najviše boje potrebno utrošiti za zaštitu površine koja je obrađena mlazom lomljene čelične sačme što je povezano sa najvećom površinskom hrapavosti tako obrađene površine. Povećanje tlaka obrade kod površina pripremljenih korundom i lomljenom čeličnom sačmom rezultira smanjenjem količine boje potrebne za ispunjavanje površinske hrapavosti. Analizom svih rezultata vidljivo je da se povećanjem tlaka obrade dobiva ravnomjernija i manje hrapava površina te je prilikom zaštite potrebno utrošiti manje boje za prekrivanje površine. Kod upotrebe kvarcnog pijeska kao abraziva slučaj je obrnut te je za viši tlak obrade potrebno utrošiti više boje da bi se obrađena površina pravilno zaštitila. Iz svih prijašnjih rezultata vidljivo je da s povećanjem tlaka, prilikom obrade kvarcnim pijeskom, čestice abraziva se lome prilikom udara o površinu te svojim oštrim rubovima dodatno povećavaju površinsku hrapavost.

## 15. Zaključak

Pažljiva predobrada i priprema čelične površine osigurava kvalitetnu i trajnu površinsku zaštitu. Priprema površine obuhvaća čišćenje i uklanjanje masnoća, prljavštine, korozije te hrapavljenje same površine. Stupanj pripreme površine mora biti usklađen s predviđenim premazom ili prevlakom. Hrapavost i struktura površine utječu na prionjivost premaza, utrošak premaznog sredstva te zaštitno djelovanje premaza (potrebno je prekriti vrhove hrapavosti).

U eksperimentalnom dijelu izvršena je priprema površine uzoraka u komori za obradu površine mlazom abraziva, te je na tako pripremljene uzorke nanesen sloj premaza. Nakon pripreme površine napravljena je analiza hrapavosti površine iz koje je vidljivo da priprema površine lomljenom čeličnom sačmom daje najveću hrapavost. Povećanjem tlaka obrade vidljiva su mala povećanja hrapavosti površine kod obrade korundom i lomljenom čeličnom sačmom. Povećanjem tlaka kod obrade kvarcnim pijeskom dolazi do lomljenja čestica kvarcnog pijeska, te je hrapavost površine smanjena, ali su vrhovi profila hrapavosti („zubi“) oštiji. Najbrža priprema površine uzoraka je ostvarena čeličnom sačmom, zatim kvarcnim pijeskom, dok je obrada korundom najsporija.

Na pripremljene uzorke nanesen je dvokomponentni premaz te su uzorci ispitani u vlažnoj i slanoj komori. Na uzorcima ispitanim u vlažnoj komori nisu uočene nikakve promjene, dok su na uzorcima ispitanim u slanoj komori uočeni korozijski produkti i mjehuranje premaza oko ureza.

Nakon ispitivanja uzoraka u slanoj i vlažnoj komori ispitana su svojstva prionjivosti premaza, metodom mrežice i vlačnom metodom. Analizom rezultata vidljivo je da priprema površine sa sva tri abraziva daje zadovoljavajuću prionjivost premaza.

Analizom proračuna potrošnje premaznog sredstva vidljivo je da je najveća potrošnja boje na uzorcima pripremljenim lomljenom čeličnom sačmom, što je povezano sa najvećom hrapavosti tako pripremljene površine.

Zajedničkom analizom svih provedenih ispitivanja može se zaključiti da različiti stupnjevi pripreme površine direktno utječu na potrošnju i prionjivost premaznog sredstva. Što je profil hrapavosti veći to je potrebno više premaza da bi dobili istu debljinu suhog filma kao kod profila manje hrapavosti. Različiti abrazivi stvaraju različite profile hrapavosti što je važno za njihov odabir i sidrenje premaza. Kod prionjivosti premaza najbitniji parametri hrapavosti su  $R_z$  (dubina profila hrapavosti) i  $R_{sm}$  (razmak između vrhova profila). Mikroskopskom analizom uzoraka utvrđeno je da se smanjenjem parametra  $R_{sm}$  dobiva jače nazubljena površina na koju premaz može bolje prijanjati. Povećanjem parametra  $R_z$ , kao što je to utvrđeno prilikom obrade površine čeličnom sačmom, dobiva se dublji profil hrapavosti te veća prionjivost, ali i veća potrošnja premaza.

Odabir abraziva za pripremu površine potrebno je prilagoditi zahtjevima proizvođača premaza, raspoloživom vremenu za rad, utjecaju na okoliš i ekonomskoj isplativosti abraziva, uz ispunjavanje uvjeta potrebne prionjivosti premaza.

## 16. LITERATURA

- [1] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović: Korozija i zaštita premazima, FSB, Zagreb, 2014.
- [2] I. Esih: Osnove površinske zaštite, FSB, Zagreb, 2003.
- [3] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije II, FSB, Zagreb, 1992.
- [4] E. Stupnišek Lisac: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, FKIT, Zagreb, 2007.
- [5] Z. Gulišija, Č. Lačnjevac: Korozija i zaštita materijala, ITNMS\*IDK, Beograd, 2012.
- [6] N. Rački – Weihnacht: Boje i lakovi jučer danas sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004.
- [7] Dostupno na: [www.pfst.unist.hr/uploads/KZMpredavanje\\_10.ppt](http://www.pfst.unist.hr/uploads/KZMpredavanje_10.ppt), 20.8.2017.
- [8] L. D. Vincent: The protective coating user' s handbook 2<sup>nd</sup> edition, NACE International, Houston, Texas, 2010.
- [9] Jotun Paints: Coating manual – more than paint, Sandefjord, Norway, 2001.
- [10] [http://media.blog.homedepot.com/wp-content/uploads/Step1\\_MAILBOX\\_SANDING.jpg](http://media.blog.homedepot.com/wp-content/uploads/Step1_MAILBOX_SANDING.jpg), preuzeto 18.8.2017.
- [11] [https://www.bosch-doit.de/media/media/diy/diymedia/199914/23909/23909\\_anwendungsbild/303634.png](https://www.bosch-doit.de/media/media/diy/diymedia/199914/23909/23909_anwendungsbild/303634.png), preuzeto 20.8.2017.
- [12] <http://www.mr-integrated-services.com/images/Hydroblast.jpg>, preuzeto 20.8.2017.
- [13] <http://www.timemachine.hr/wp-content/uploads/2015/10/Pjeskarenje-plovila.jpg>, preuzeto 20.8.2017.
- [14] U.S. Environmental Protection Agency: Emission Factor Documentation for AP-42, Abrasive Blasting, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group, New York, SAD, 1997.
- [15] U.S. Department of Health, Education, and Welfare: Abrasive Blasting Operations, Washington, 1976.
- [16] Dostupno na: <https://www.vapormatt.com/news/what-wet-blasting>, 29.8.2017.
- [17] Dostupno na: <http://www.indianharvesters.com/products.php>, 30.8.2017.

- [18] Dostupno na: <http://tuzla-kvarc.ba/kvarcni-pijesak-za-pjeskarenje>, 30.8.2017.
- [19] Dostupno na: <http://laxmishellindustries.com/products>, 30.8.2017.
- [20] Dostupno na: <http://bonocom.hr/abrazivi/>, 30.8.2017.
- [21] Dostupno na: <http://www.timemachine.hr/abrazivi-za-pjeskarenje/>, 30.8.2017.
- [22] Dostupno na: [http://pjeskarenje.hr/proizvodi/materijali\\_za\\_pjeskarenje/](http://pjeskarenje.hr/proizvodi/materijali_za_pjeskarenje/), 30.8.2017.
- [23] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović, V. Alar: Mehanizmi zaštite od korozije- autorizirana predavanja, FSB, Zagreb, 2012.
- [24] STANDARD ISO 8501: Corrosion Protection of Steel Structures by Painting, CIN protective coatings, Francuska, 2011.
- [25] ODABIR ODGOVARAJUĆEG SUSTAVA PREMAZA: Smjernice za zaštitu u skladu sa ISO 12944, Hempel Coatings (Croatia) Ltd, Umag, Hrvatska.
- [26] Dostupno na: [http://www.coatfab.com/abrasive\\_blasting.htm](http://www.coatfab.com/abrasive_blasting.htm), 31.8.2017.
- [27] L. Vrsalović: Korozija i okoliš – podloge za predavanje, Kemijsko tehnološki fakultet, Split, Hrvatska, 2011.
- [28] Technology Publishing Company: Selecting the Right Abrasive, JPCL, Pittsburgh, Pennsylvania, 2013.
- [29] G. Gedeon: Pre- Coating Surface Preparation, CED Engineering, Course No: T02-003, New York, 1995.
- [30] A. W. Momber, S. Koller, H. J. Dittmers: Effects of Surface Preparation Methods on Adhesion of Organic Coatings to Steel Substrate, JPCL, Hamburg, Njemačka, 2004.
- [31] Dostupno na: <https://www.scribd.com/doc/250225450/Calculation-JOTUN>, 20.11.2017.

## **17. Prilozi**

CD - rom